М 281436.

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э. Баумана

АНДРИЕНКО Владимира Георгиевича

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЧНОСТИ РЕЗЬБЫ НА ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ПРОЧНОСТИ

Специальность 05.II.I5 - Метрология и взаимозаменяемость

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 19

Работа выполнена в Московском ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им.Н.Э.Баумана.

Научный руководитель –
заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
доктор технических наук, профессор Якушев А.И.

Научный консультант –
кандидат технических наук, доцент Фридлендер И.Г.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Никифоров А.Д.
кандидат технических наук, доцент Захаров С.Н.

Ведущее предприятие указано в решении Ученого Совета.

Автореферат разослан " " 1975 г.

Защита диссертации состоится " " 1975 г.
на заседании Ученого Совета [illegible] "Автоматизация и механизация производства" Мос[illegible]
имени Н.Э.Баумана по ад[illegible],
дом 5.

Ваши отзывы в[illegible]
просьба выслать по[illegible]

С диссерта[illegible]
им. Н.Э.Баумана.

Ученый сек[illegible]
д.т.н., доц[illegible]

М 281436

Л-40947 в печ[illegible] Тир. 200

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана
1281436
Андриенко В.Г. Исследовани

Актуальность проблемы. Улучшение качества продукции является одной из основных задач современного машиностроения. Большое значение в решении этой проблемы будет иметь переход всех стран - членов СЭВ на единую систему допусков и посадок ЕСДП - СЭВ, которая основана на международной системе допусков ИСО. Внедрение этой системы будет способствовать развитию международных промышленных связей и особенно социалистической интеграции стран СЭВ. ГОСТ 16093-70 "Резьба метрическая для диаметров от 1 до 600 мм. Допуски" взамен ГОСТ 9253-59 и 10191-62 является составной частью ЕСДП.

Резьбовые соединения имеют широкое применение в различных отраслях машиностроения и их точность и прочность часто предопределяют качество отдельных узлов и машин в целом. В связи с этим, весьма актуальной задачей является определение влияния предельных отклонений резьбы на показатели прочности соединений.

Для решения этой задачи необходимо:

а) разработать рекомендации по выбору степеней точности и основных отклонений параметров резьб по ГОСТ 16093-70, обеспечивающих высокую статическую и усталостную прочность взаимозаменяемых резьбовых соединений;

б) обеспечить предусмотренные новым стандартом нормы точности путем применения современной методики анализа и регулирования технологических процессов изготовления взаимозаменяемых резьб.

Цель исследования. Целью работы является:

1) исследование влияния характера сопряжения и предельных отклонений параметров резьб по ГОСТ 16093-70 на прочность резьбовых соединений при статических и переменных нагрузках;

2) сравнительная оценка прочности резьбовых соединений при замене допусков по ранее действующим стандартам (ГОСТ 9253-59 и ГОСТ 10191-62) на новые допуски по ГОСТ 16093-70;

3) разработка практических рекомендаций по выбору степеней точности и основных отклонений для резьбовых соединений по новому стандарту;

4) исследование возможности применения и дальнейшего развития одного из статистических методов для анализа точности, уровня настройки, стабильности и регулирования процессов изготовления взаимозаменяемых резьбовых деталей и их соединений.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
МГТУ им. Н.Э. Баумана БИБЛИОТЕКА

5. разработка практических рекомендаций по применению статистического анализа и регулирования процессов изготовления взаимозаменяемых резьб.

Методы исследования. При проведении теоретических и экспериментальных исследований использованы: а) метод математического планирования экспериментов (метод Бокса и Уилсона) и методы теории вероятностей и математической статистики (методика построения оперативных характеристик для метода группировки, композиция числовых характеристик распределений, использование тригонометрического ряда Фурье для аппроксимации распределения случайных погрешностей параметров резьбы); б) метод непосредственного нагружения резьбовых соединений в специальной установке при усталостных испытаниях и в разрывной машине - при статических испытаниях.

Научная новизна. Получены математические модели прочности резьбовых соединений при статических и переменных нагрузках, определяющих характер и степень влияния геометрических параметров, регламентированных новым стандартом. Теоретически и экспериментально обоснована применимость метода группировки к анализу точности, уровня настройки, стабильности и регулированию процессов изготовления взаимозаменяемых резьб. Дальнейшее развитие теории метода группировки позволило: а) исследовать риски I-го и II-го рода (риск преждевременной наладки α и риск незамеченной разладки процесса β) и величины вероятных потерь потребителя βq при различных планах контроля; б) оценить влияние метрологических ошибок на изменение рисков двух родов α и β и вероятных потерь потребителя βq; в) разработать систему допусков на неточность изготовления и износ резьбовых калибров распределения и контркалибров к ним.

Практическая ценность. В результате проведенных исследований разработаны практические рекомендации по замене классов точности резьбы по ранее действующим стандартам на степени точности и основные отклонения по ГОСТ 16093-70, а также по выбору полей допусков и предельных отклонений. Разработаны способы повышения прочности резьбовых соединений при действии статических и переменных нагрузок за счет выбора степеней точности и основных отклонений. Разработаны рекомендации по применению статистического анализа точности, уровня настройки, стабильности и регулированию процессов изготовления взаимозаменяемых резьб методом группировки.

Разработана система допусков на калибры распределения и контр-калибры к ним.

Апробация работы. По основным разделам работы сделаны следующие доклады: на IУ-й Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции, Москва, 1975 г.; на Всесоюзном совещании по системам управления качеством продукции, ВНИИС, Москва, 1975 г.; на седьмой конференции молодых ученых и специалистов Тюменской области, Тюмень, 1973 г.; на НТС "Научные проблемы качества", ВНИИНМАШ, Москва, 1974 г.; на семинаре по внедрению статистических методов контроля на предприятиях отрасли, Москва, 1975 г.

Реализация результатов работы. Рекомендации по выбору полей допусков по ГОСТ 16093-70 и статистическому анализу и регулированию процессов изготовления взаимозаменяемых резьб, разработанные на основании исследований, внедрены на дизелестроительном заводе им. С.М.Кирова, г. Токмак, и на автомобильном заводе "Коммунар", г. Запорожье. По данным завода им. С.М.Кирова годовой экономический эффект, только по четырем типо-размерам резьб, составил сумму в 26420 рублей. По предложению ВНИИНМАШ Госстандарта СССР разработана I-я редакция "Рекомендации по статистическому анализу и регулированию методом группировки". Разработан проект ГОСТ по статанализу, который включен в план Государственной стандартизации на 1976 год.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 241 стр., из них 151 составляет текст, включающий в себя введение, пять глав, выводы по главам и общие выводы по работе, восемь приложений на 78 стр. Работа содержит 32 таблицы и 33 рисунка, список литературы из 132 наименований.

Первая глава. Посвящена сравнительному анализу стандартов на допуски метрической резьбы по ГОСТ 9253-59, 10191-62 и 16093-70, краткому обзору работ отечественных и зарубежных исследователей по прочности резьбовых соединений при статических и переменных нагрузках и краткому обзору состояния вопроса о статистических методах анализа и регулирования технологических процессов. Как показал сравнительный анализ допусков и предельных отклонений по новому и старому стандартам, имеющиеся различия при выборе заменяющих степеней точности и основных отклонений могут оказывать

существенное влияние на несущую способность резьбовых соединений. Исследований о влиянии допусков и посадок по новому стандарту на прочность резьбовых соединений не имеется. Настоящая работа посвящена решению этого вопроса. Установлено, что наиболее эффективным методом выполнения статистического анализа и регулирования процессов изготовления резьб является метод группировки.

Во второй главе изложена методика проведения экспериментальных исследований прочности резьбовых соединений при статических и переменных нагрузках. Для исследований были приняты следующие размеры болтов и гаек: М8хI и М12хI,5, изготовленных из стали 45, титанового сплава ВТ8 и жаропрочного ХН77ТЮР одной плавки, соответственно. Все базовые поверхности болтов и гаек шлифовались. Термообработка заготовок - болтов из стали 45 осуществлялась перед шлифованием по трем вариантам и обеспечивала необходимые уровни твердости. Термообработка образцов из сплава ВТ8 и ХН77ТЮР осуществлялась перед нарезанием и накатыванием резьбы. Были измерены у резьбы болтов: наружный, средний, внутренний диаметры, радиус впадины, шаг, половина угла профиля, шероховатость впадины и боковых поверхностей и твердость; у резьбы гаек контролировались: внутренний и средний диаметры, а также твердость. Статические испытания проводились на разрывной машине УММ-50. Установка образцов осуществлялась с помощью специального приспособления, которое исключало смещение и перекос оси болта по отношению к оси гайки. Несущая способность оценивалась по разрушающей нагрузке Q. Испытание резьбовых соединений на прочность при переменных нагрузках с предварительной затяжкой (σ_m = 150 МН/м^2; 250 МН/м^2 и 300 МН/м^2) производилось на специальной установке. Величина средних напряжений устанавливалась так, что обеспечивалось постоянство отношения $\sigma_m/\sigma_T \approx 0{,}33$. При испытании обеспечивалось постоянство заданной амплитуды цикла напряжений $\pm\sigma_a$ с относительной предельной погрешностью $\pm$ 0,6%. Нагружение производилось по асимметрическому циклу с частотой 25 гц. База испытаний для соединений из стали 45 и сплава ХН77ТЮР была $N = 5.10^6$ циклов, а для сплава ВТ8 $N = 10.10^6$. Оценка прочности резьбовых соединений осуществлялась по предельной амплитуде цикла напряжений $\pm\sigma_a$. Программа испытаний была составлена по общеизвестной методике планирования экспериментов (табл.I).

Таблица I

Размеры и уровни	Факторы и их значения						
	EJD_1 в мкм	EJD_2 в мкм	esd в мкм	esd_2 в мкм	ℓ в м	HB_T	$HRC_Б$
	верхний (+I)	365	230	365	2I0	I4.I0^{-3}	250	30
	основной (0) при стат.нагр.	I84	II6	I84	I06	7,I.I0^{-3}	220	24
M8xI	основной (0) при усталостн.нагр.	33	26	33	25	6,4.I0^{-3}	205	23
	нижний (-I)	3	3	3	3	2,8.I0^{-3}	I90	I8
	верхний (+I)	420	270	4I0	250	I9,8.I0^{-3}	250	30
	основной (0) при стат.нагр.	206	I36	206	I26	I2,3.I0^{-3}	220	24
M12xI.5	основной (0) при усталостн.нагр.	35	29	35	27	9,6.I0^{-3}	205	23
	нижний (-I)	3	3	3	3	4,8.I0^{-3}	I90	I8

Были постулированы следующие модели показателей прочности:

а) при статических нагрузках:

$$Q = K_1(b_0 + b_1 EJD_2 + b_2 EJD_1 + b_3 esd_2 + b_4 esd + b_5 EJD_2 EJD_1 + b_6 EJD_2 esd),$$

б) при переменных нагрузках:

для стали 45

$$\sigma_a = K_1'(EJD_2)^{\lambda_1}(EJD_1)^{\lambda_2}\ell^{\lambda_3} HB_T^{\lambda_4}(esd_2)^{\lambda_5}(esd)^{\lambda_6} HRC_6^{\lambda_7},$$

для ВТ8 и ХН77ТЮР

$$\sigma_a = K_1'(EJD_2)^{\lambda_1}(EJD_1)^{\lambda_2}\ell^{\lambda_3}(esd_2)^{\lambda_4}(esd)^{\lambda_5}$$

где K_1 и K_1' – размерные коэффициенты; es – верхнее отклонение диаметров резьбы болта; EJ – нижнее отклонение диаметров резьбы гайки; HB_T – твердость гайки; HRC_6 – твердость болта; ℓ – длина свинчивания.

Третья глава посвящена анализу результатов экспериментальных исследований. В результате математической обработки данных экспери-

ментов на ЭВМ были получены уравнения регрессии, проверка которых подтвердила адекватность их опытным данным и значимость коэффициентов регрессии. Анализ результатов экспериментов и полученных уравнений показал (табл.2), что на статическую прочность резьбовых соединений оказывают влияние отклонения всех трех диаметров. Наличие максимальных зазоров в резьбовых соединениях с посадкой 7g/8g снижает статическую прочность резьбовых соединений. При нормальной длине свинчивания $\ell = 0{,}8d$, это снижение составило: для образцов из стали 45 - 19%, из сплава ВТ8 - 24% и из сплава ХН77ТЮР -13%. Обеспечение высокой статической прочности резьбовых соединений требует уменьшения зазоров по всем трем диаметрам. Однако, влияние зазоров по наружному и внутреннему диаметрам соединения на статическую прочность больше, чем влияния зазора по среднему диаметру. Поэтому, требования к точности изготовления резьб по среднему диаметру болтов и гаек могут быть несколько снижены.

Таблица 2

Материал болта и гайки	Способ образования резьбы	Шероховатость поверхности	Уравнения регрессии
			При статических нагрузках
Сталь 45	Шлифование	$\sqrt{0{,}63}$	$Q_1 = K_1(8496 - 0{,}4ED_2 - 0{,}65ED_1 - 2{,}1esd - 0{,}3esd_2 - 0{,}003ED_2ED_1)$
ВТ8	Нарезание резцом	$\sqrt{1{,}0}$	$Q_2 = K_2(10892 - 1{,}35ED_2 - 3ED_1 - 2{,}4esd - 0{,}83esd_2 + 0{,}006ED_2ED_1)$
ХН77ТЮР	Нарезание резцом	$\sqrt{2{,}0}$	$Q_3 = K_3(9237 - 0{,}43ED_2 - 0{,}91ED_1 - 0{,}87esd - 0{,}36esd_2 + 0{,}001ED_2esd)$
			При переменных нагрузках
Сталь 45	Шлифование	$\sqrt{0{,}63}$	$\sigma_{a_1} = K_1 2{,}51(ED_2)^{0{,}015}(ED_1)^{0{,}041}\ell^{0{,}122}HB_r^{-0{,}59}(esd_2)^{0{,}012}(esd)^{0{,}021}HRC_\ell^{0{,}02}$
ВТ8	Нарезание резцом	$\sqrt{1{,}0}$	$\sigma_{a_2} = K_2 1{,}04(ED_2)^{0{,}023}(ED_1)^{0{,}038}\ell^{0{,}112}(esd_2)^{-0{,}11}(esd)^{0{,}042}$
-"-	Накатывание	$\sqrt{1{,}0}$	$\sigma_{a_3} = K_3 0{,}659(ED_2)^{0{,}027}(ED_1)^{0{,}03}\ell^{0{,}216}(esd_2)^{-0{,}177}(esd)^{0{,}054}$
ХН77ТЮР	Нарезание резцом	$\sqrt{2{,}0}$	$\sigma_{a_4} = K_4 1{,}113(ED_2)^{0{,}015}(ED_1)^{0{,}013}\ell^{0{,}239}(esd_2)^{-0{,}225}(esd)^{0{,}02}$
-"-	Накатывание	$\sqrt{0{,}63}$	$\sigma_{a_5} = K_5 1{,}25(ED_2)^{0{,}018}(ED_1)^{0{,}032}\ell^{0{,}2}(esd_2)^{-0{,}183}(esd)^{0{,}027}$

Для резьбовых соединений, изготавливаемых из стали 45 и сплава ХН77ТЮР, нагруженных большими статическими нагрузками, рекомендуют-

ся следующие посадки: 6H/6g ; 6H5H/6g 4h ; 6H4H/6g 4h, а для соединений из сплава ВТ8 - 6H/6g ; 6H5H/6g 6h ; 6H5H/6g 4h ; 6H4H/6g 4h , если длина свинчивания не превышает $l = 0{,}8d$. Кроме того, при изготовлении резьбы степени точности 7G и 8g для внутренних диаметров гаек и наружных диаметров болтов, и степеней 4h и 4H5H для средних диаметров болтов и гаек можно не применять, так как в первом случае наблюдалось большое снижение прочности, а во втором случае - незначительное влияние на прочность. Для исследования влияния отклонений диаметров резьбовых соединений на статическую прочность с учетом длины свинчивания были проведены испытания соединений М12хI,5, изготовленных из стали 45, сплавов ВТ8 и ХН77ТЮР со следующими длинами свинчивания: малыми S (0,4d), N(0,5d ; 0,6d ; 0,7d и I,0d) и большими L (I,2d). Исследования показали, что несмотря на высокую прочность сплава ВТ8, при максимальных зазорах по всем трем диаметрам соединения (посадка 7G/8g) и $l = 0{,}5d$, резьбовые соединения разрушались при более низких нагрузках ($Q = 2{,}95.10^4$Н), чем соединения из сплава ХН77ТЮР ($Q = 3{,}9.10^4$Н). Поэтому малые длины свинчивания S для резьб, изготавливаемых из сплава ВТ8, применять нецелесообразно. Установлено, что по мере увеличения длины свинчивания, степень влияния отклонений параметров соединения на статическую прочность снижается и при длине свыше $l = I{,}0d$ у соединений из стали 45, сплавов ВТ8 и ХН77ТЮР, как с максимальными зазорами (посадка 7G/8g, а также и без зазоров (посадка 4H5H/4h) этого снижения прочности не наблюдалось. Таким образом, при отсутствии возможности точного выполнения резьб для соединений, испытывающих статическую нагрузку, необходимо увеличивать длину свинчивания. Сравнительными исследованиями установлено, что при переходе с I-го класса (по скользящей посадке) на посадку 4H5H/4h может иметь место повышение прочности до 2,5%, а переход с классов 2 и 2а (по скользящей посадке) к посадке 6H/6g может вызвать снижение прочности до 3%. Переход от скользящей посадки 3 класса к посадке 7H/8g вызывает снижение прочности резьбовых соединений до I0%. При замене посадок с зазорами кл. 3Х/кл.2аД и кл.3Х/кл.3Л посадками 6G/6g и 6G/6e изменение прочности не наблюдалось, что объясняется примерно одинаковыми зазорами по старому и новому стандартам.

Анализом экспериментальных данных усталостных испытаний, а также соответствующих уравнений регрессии (табл.2) установлено, что: отклонения параметров резьбы у соединений из стали 45, предусмотренные новым стандартом (посадка 7G/8g), образующие зазоры в соединениях, повышают усталостную прочность в сравнении с беззазорными соединениями (табл.3). Такое повышение прочности объясняется уменьшением сечения витков, увеличением податливости соединения и более равномерным распределением усилий по виткам. Это в свою очередь снижает концентрацию напряжений во впадинах резьбы болта. Кроме этого, повышению прочности способствует зазор по внутреннему диаметру соединения, наличие которого уменьшает величину касательных напряжений, вызывающих возникновение усталостных трещин, а также уменьшает вредные действия перекосов за счёт самоцентрирования резьб. Для соединений, резьба болтов которых получена нарезанием или накатыванием, изготовленных из сплавов ВТ8 (болт и гайка) и ХН77ТЮР (болт и гайка) характерным при действии переменных нагрузок является то, что отклонения среднего диаметра болта от номинальных значений снижают усталостную прочность соединений. Отрицательное влияние отклонений по среднему диаметру болта на усталостную прочность соединений из сплавов ВТ8 и ХН77ТЮР объясняется особенностями механических свойств этих материалов. Для обеспечения высокой усталостной прочности резьбовых соединений из ВТ8 и ХН77ТЮР необходимо, чтобы основание профиля резьбы болта было как можно больше, а его высота как можно меньше. При этом, усталостная прочность соединения повышается за счёт уменьшения напряжений изгиба в нагруженных витках резьбы болта. У гаек необходимо, чтобы основание профиля резьбы витков и их высоты были как можно меньше для обеспечения зазоров по среднему и внутреннему диаметрам соединений. Учитывая вышеизложенное, можно рекомендовать следующие степени точности и основные отклонения: при накатывании резьбы болта - 4h 6d, при нарезании резьбы болта - 6h 6g. Для резьбовых соединений, у которых резьба болта накатана , рекомендуется посадка 7G/4h 6d, а для соединений, у которых резьба нарезана - посадка 7G/6h 6d. Результаты испытаний резьбовых соединений М12хI,5, изготовленных с учетом рекомендуемых посадок, приведены в табл.3.

Сравнительные исследования усталостной прочности при переходе от классов точности по старым стандартам к степени точности и

Таблица 3

Материал болта и гайки	Способ изготовления резьбы болта	σ_m МН/м²	Предельная амплитуда цикла напряжений $\pm\sigma_a$ в МН/м² соединений с посадками			
			4H5H/4h	6H/6g	7G/8g	рекомендуемыми
Сталь 45	Шлифованием	I50	50	70	75	75
Титановый сплав ВТ8	Нарезанием резцов	300	45	40	40	60
-"-	Накатыванием	300	35	25	25	55
Жаропрочн. сплав ХН77ТЮР	Нарезанием резцом	250	50	50	45	65
-"-	Накатыванием	250	55	45	45	75

основным отклонениям по новому стандарту показали, что замена I-го кл. на посадку 4H5H/4h, 2-го кл. на 6H/6g и 3-го кл. на посадку 7H/8g снижения усталостной прочности не вызывало, а в некоторых случаях наблюдалось повышение прочности до 22%. Замена класса 2а на посадку 6H/6g и посадок с зазором на посадки 6G/6g и 6G/6e изменения прочности не вызывало.

В четвертой главе приведены экспериментальные и теоретические исследования по установлению правомерности применения к процессам изготовления и контроля резьб метода группировки. Необходимо было установить закон распределения компонентов приведенного среднего диаметра (собственно среднего диаметра, шага и половины угла профиля) и их композиций. На основе найденных числовых характеристик: показателя ассиметрии β_1 и эксцесса E установлено, что распределение собственно среднего диаметра и половины угла профиля удовлетворительно описывается нормальным распределением. Что же касается распределения шага P, то сравнительно часто наблюдается уклонение от нормального распределения. Определение тех же числовых характеристик для приведенного среднего диаметра производилось по выражениям:

$$\beta_{1D_{пр}} = \left[\left(\frac{\partial D_{пр}}{\partial d_2}\right)^3 \beta_{d_2} S_{d_2}^3 + \left(\frac{\partial D_{пр}}{\partial \Delta P}\right)^3 \beta_{\Delta P} S_{\Delta P}^3 + \left(\frac{\partial D_{пр}}{\partial \Delta_{P/2}}\right)^3 \beta_{\Delta P/2} S_{\Delta P/2}^3\right] \frac{1}{S_{D_{пр}}^3}$$

$$E_{D_{пр}} = (\beta_{2D_{пр}} - 3) = \left[\left(\frac{\partial D_{пр}}{\partial d_2}\right)^4 E_{d_2} S_{d_2}^4 + \left(\frac{\partial D_{пр}}{\partial \Delta P}\right)^4 E_{\Delta P} S_{\Delta P}^4 + \left(\frac{\partial D_{пр}}{\partial \Delta_{P/2}}\right)^4 E_{\Delta P/2} S_{\Delta P/2}^4\right] \frac{1}{S_{D_{пр}}^4}$$

Как показал анализ, приведенный средний диаметр описывается нормальным законом (показатели асимметрии β_1 и эксцесса E близки к нулю). Это обстоятельство позволило распространить идею метода группировки на процессы изготовления резьб. Наряду с этим, в работе содержится ряд новых теоретических результатов и рекомендаций, которые, в частности, включают:

I. Более глубокое обоснование оптимальных соотношений между полем допуска калибра распределения $\gamma = \frac{\delta_к}{\delta_д}$ и полем допуска детали. Вопрос об оптимизации отношения поля допуска калибра распределения $\delta_к$ к полю допуска деталей $\delta_д$ был впервые рассмотрен Г.И.Егудиным. Выбранное соотношение $\gamma = \frac{\delta_к}{\delta_д}$ обеспечивало максимизацию эффективности оценки показателя рассеивания $K_р$. Вопрос о влиянии γ на результаты регулирования были рассмотрены Н.Г.Гониным с позиции влияния на риски II-го рода β. В работе рассмотрено влияние γ на: объем информации о значениях $K_р$ и $K_н$, чувствительность показателей $K_р$ и $K_н$ к метрологической ошибке ξ (ошибка измерения, ошибка изготовления калибров распределения и от их износа); возможность эффективного использования калибров распределения в качестве средства настройки процессов и запаса на износ калибров распределения. Исследовано влияние величины γ на качество регулирования. При этом, основным критерием была принята величина потерь потребителя βq, где q - уровень входного качества (доля дефектных изделий в принятой партии).

2. Предложение о замене фиксированной нормы для показателя уровня настройки $K_н$ некоторым переменным, допустимым уровнем настройки позволило расширить допуски на настройку резьбонарезных и резьбонакатных станков.

3. Построение таблиц для определения показателей $K_р$ и $K_н$ при наличии двух групп сортировки по калибрам распределения и брака по рабочему калибру. Аналитические зависимости и таблицы для определения показателей $K_р$ и $K_н$ при отсутствии брака или при отсутствии информации о доле брака были получены ранее. Для ситуации, когда доля брака известна, определение $K_р$ и $K_н$ производится по следующей схеме:

$$\Phi(t_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{x_2 - \bar{x}}{\sigma}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{\delta(x_2 - \bar{x})}{K_р}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\delta(x-\bar{x})}{K_р}\right]^2} dx = 0{,}5 - 0{,}01 n_{бр}$$

$$\Phi(t_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{x_1 - \bar{x}}{\sigma}} e^{\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{\delta(x_1 - \bar{x})}{K_р}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\delta(x-\bar{x})}{K_р}\right]^2} dx = 0{,}5 - \frac{n^*}{100}$$

где x_1 и x_2 - границы сортировки; $\bar{x}$ - среднее значение, а n^* и $n_{бр}$ - количество деталей, попавших в среднюю группу и в брак соответственно. По этим уравнениям вычисляются значения функции Лапласа t_1 и t_2. Показатели точности K_p и уровня настройки $K_н$ в этом случае определяются по полученным формулам:

$$K_p = \frac{1.5}{t_2 - t_1}, \qquad K_н = 0.25\,\frac{t_2 - 2t_1}{t_2 - t_1},$$

4. Теоретическое обоснование и построение системы допусков на резьбовые калибры распределения и контркалибры к ним.

5. Переработку методики регулирования применительно к различным производственным ситуациям.

6. Обоснование и анализ рисков I-го, II-го рода (α и β) и вероятных потерь потребителя βq при регулировании процессов изготовления резьб. Построение оперативных характеристик для метода группировки производилось с помощью биноминального закона распределения

$$\beta_{i_2} = \sum_{m=0}^{\lambda} C_n^m P_i^m (1-P_i)^{n-m}$$

(так как объем выборки $n \ll N$ - объема контролируемой совокупности), где λ - допустимая сумма количества резьбовых деталей в крайних группах для принятого плана контроля, а P_i - вероятность попадания деталей в одну из крайних групп. Для построения кривых, так называемых вероятных потерь потребителя $\beta_i q_i$, уровень входного количества определяется так: из интегрального уравнения

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{t_i} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \frac{1-P_i}{2}$$

определялось значение t_i и затем определялось q_i из выражения:

$$q_i = 1 - 2\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{t}{\sqrt{2}}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

7. Рекомендации по изъятию калибров с рабочих мест, что существенно повышает экономическую эффективность метода, облегчает внедрение и обеспечивает снижение расхода средств на калибровое хозяйство.

8. Анализ влияния метрологических ошибок на риски I-го и II-го рода (α и β) и потери потребителя βq. Оценка стабильности показателя точности производится с помощью критерия Фишера. Оценка стабильности показателя уровня настройки производится с помощью критерия Стьюдента. Для упрощения процедуры этих оценок построены номограммы.

Пятая глава содержит практические рекомендации, разработанные на основе теоретических и экспериментальных исследований и расчетов.

Они включают:

I. Рекомендации по выбору степеней точности и основных отклонений резьбы по ГОСТ 16093-70 (таб.4) для принятых четырех уровней ответственности резьбовых соединений, для которых даны характеристики области применения.

Таблица 4.

Уровень ответственности резьбовых соединений	Материал	Рекомендуемые степени точности и основные откл.										
		При статических нагрузк.					При переменных нагрузк.					
		для болта		для гайки		длина свинчивания, l	для болта		для гайки		длина свинчивания, l
		d	d_2	D_1	D_2		d	d_2	D_1	D_2	
Неответственный	Сталь45 ВТ8 ХН77ТЮР	8g		7H (7G)		S, N, L	—		—		—
Нормальный	Сталь 45	6h (6g)	8g	6G	7H	N при $l<0{,}8d$	8g	8g	7G	7G	S, N, L
	ВТ8	6h (6g)	6g (8g)	6H (6G)	6H (7H)			6h			
	ХН77ТЮР	6g	8g	6G	7H			6h			
Повышенный	Сталь45	4h	6g	5H (6H)	6H	N при $l<0{,}8d$	8g	6g (8g)	7G	7G	N, L
	ВТ8	4h		5H	5H		6d	4h* [6h]	7G	6G (7H)	
	ХН77ТЮР	6h		5H (6H)	6H			4h* [6h]		7G	
Особо ответственный	Сталь45	4h	4h (6h)	5H	4H (5H)	N при $l<0{,}8d$ но не менее $0{,}6d$	6g	6g	6G	6G	N, L
	ВТ8							4h* [6h]			
	ХН77ТЮР							4h* [6h]			

Примечание. Поля допусков, не заключенные в круглые скобки, – предпочтительного применения. Поля допусков, отмеченные [ ] – использовать для нарезанных резьб; поля допусков отмеченные * применять для накатанных резьб.

2. Рекомендации по применению метода группировки для статистического анализа и регулирования процессов изготовления резьб.

Основные выводы.

I. На основании теории математического планирования экспериментов (метод Бокса и Уилсона) разработана методика получения математических моделей прочности взаимозаменяемых резьбовых соединений при действии статических и переменных нагрузок. Использование разработанной методики и полученных моделей позволили изучить влияние предельных отклонений параметров резьбовых соединений, регламентированных ГОСТ I6093-70, для размеров М8хI и М12хI,5, изготовленных (болт и гайка) из стали 45 и сплавов ВТ8 и ХН77ТЮР, на их статическую и усталостную прочность. Так, изменение статической прочности составило: для соединений из стали 45 – I9%; для соединений из ВТ8-24% и для соединений из ХН77ТЮР – I3%. А изменение усталостной прочности составило: для соединений из стали 45 – 50%; для соединений из ВТ8 – 57% и для соединений из ХН77ТЮР – 36%.

2. В результате теоретических и экспериментальных исследований было установлено, что высокая усталостная прочность резьбовых соединений, изготовленных из стали 45 (твердость резьбы болта НКС 30 ÷ 35, твердость резьбы гайки НВ = I85 ÷ 2I0) и сплавов ВТ8 и ХН77ТЮР, может быть обеспечена за счет увеличения зазоров, обусловленных степенями точности и основными отклонениями по ГОСТ I6093-70, по наружному и внутреннему диаметрам соединения, а также за счет увеличения среднего диаметра гайки. В то же время, для резьбовых соединений, изготовленных из сплавов ВТ8 и ХН77ТЮР, отклонение среднего диаметра болта от номинального значения снижает усталостную прочность соединений, в виду высокой чувствительности этих материалов к напряжениям изгиба. Поэтому, правильно выбранные сочетания степеней точности и основных отклонений по ГОСТ I6093-70 могут повысить статическую и усталостную прочность соединений в I,3 и в I,6 раза.

3. Для снижения влияния погрешностей установки резьбовых образцов на результаты статических и усталостных испытаний были сконструированы, изготовлены и аттестованы специальные приспособления, которые позволили при проведении экспериментов уменьшить несоосность и перекос осей болта и гайки, по сравнению с существующими приспособлениями в 8-I0 раз. Это дало возможность практически исключить напряжения изгиба стержня болта.

4. Анализ данных сравнительных испытаний по оценке статической и усталостной прочности резьбовых соединений при замене допусков по старым стандартам на степени точности и основные отклонения

по ГОСТ I6093-70 показал, что при действии статических нагрузок возможно снижение прочности до I2%, а при действии переменных нагрузок - могут иметь место равнопрочность или повышение усталостной прочности до 22%.

5. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что применение метода группировки для выполнения статистической анализа точности, уровня настройки, стабильности и регулирования процессов изготовления резьб повысило уровень взаимозаменяемости резьбовых соединений в I,5 раза.

6. Используя основные положения теории взаимозаменяемости и с помощью оперативных характеристик и кривых вероятных потерь потребителя βq были установлены допустимые пределы изменения отношения поля допуска калибра распределения или контрольного устройства к полю допуска среднего диаметра резьбы. Выявлено, что при доле дефектных изделий в партии q до 3% различные величины γ и соответствующие им планы контроля не влияют на качество регулирования процессов изготовления резьб.

7. Разработанные методики и рекомендации внедрены на автомобильном заводе "Коммунар" (г.Запорожье) и дизелестроительном заводе им.С.М.Кирова (г.Токмак). Только по дизелестроительному заводу экономический эффект, по четырем типоразмерам, составил 26420 рублей. Этот эффект получен за счет снижения потерь от брака, увеличения межналадочного периода, увеличения стойкости инструмента, снижения объема контрольных работ, стабильного выполнения параметров резьбы и повышения уровня взаимозаменяемости.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

I. Андриенко В.Г. и Яценко В.К. Повышение качества поверхности и выносливости деталей из титановых сплавов, ЦТИ, №160, Запорожье, 1970.

2. Андриенко В.Г. и Фридлендер И.Г. Расчет допусков размеров деталей из пластмасс с учетом ресурса работы. Сб. "Взаимозаменяемость и точность деталей из пластмасс" Л., 1970.

3. Андриенко В.Г. Управление качеством продукции на машиностроительных предприятиях в условиях серийного и массового производства. Материалы УП-ой научно-технической конференции молодых ученых и специалистов Тюмени, Тюмень, 1973.

4. Андриенко В.Г. и Фридлендер И.Г. Математические модели управления точностью процессов формообразования взаимозаменяемых деталей. Тезисы на IУ-й Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции "Научные основы автоматизации производственных процессов машиностроения и приборостроения", М., 1975.

Мет...
им. Н. Э. Бау...
БИБЛИОТЕКА