М407163

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

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

---

На правах рукописи

Белов Александр Васильевич

УДК(621.882:624.078.2).001.5

# ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕКОСОВ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

05.02.02 – Машиноведение и детали машин

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Москва – 1983

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском институте по монтажным и специальным строительным работам.

Научный руководитель – заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор РЕШЕТОВ Д.Н.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Иосилевич Г.Б.

кандидат технических наук, доцент Куклин В.Б.

Ведущее предприятие – Всесоюзный научно-исследовательский институт по нормализации в машиностроении (ВНИИНМАШ).

Защита диссерт[illegible] 1983 г. на заседании спец[illegible] строение" МВТУ и[illegible] 2-я Бауманская у[illegible]

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

Автореферат [illegible]

Ученый секре[illegible] специализированно[illegible] к.т.н., до[illegible]

М 407163

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана
1407163
Белов П.В. Исследование и

Л - 99219

Подп.к печати 28.01.1983 г. Объем 1 п.л. Тир.105 экз.
Заказ № 171 Типография МВТУ им.Н.Э.Баумана

## Общая характеристика работы

Актуальность темы. Резьбовые соединения получили широкое применение в различных отраслях промышленности. К настоящему времени с целью обеспечения работоспособности резьбовых соединений общего назначения установлены Государственные нормы точности, а также унифицированы конструкции и размеры практически всех основных элементов соединений этого типа. Вместе с тем, случаи, в которых из-за их неудовлетворительной работы существенно снижаются эксплуатационная надежность и экономичность многих узлов современных машин и другого оборудования, наблюдаются достаточно часто. Одной из основных причин ухудшения работоспособности соединений - снижения прочности винтов (шпилек), точности и стабильности их затяжки, является, обычно не учитываемое в расчетах, влияние случайных перекосов, которые неизбежно возникают вследствие стохастического сочетания отклонений взаимного расположения поверхностей резьбовых и соединяемых элементов.

М 407163

По вопросу влияния перекосов на работоспособность резьбовых соединений сложились весьма противоречивые мнения, связанные с рассмотрением отдельных частных случаев в детерминированной постановке. Статистических данных о действительных величинах и вероятностях возникновения перекосов, а также их связи с погрешностями взаимного расположения поверхностей резьбовых и соединяемых элементов не установлено.

Разработка рекомендаций по снижению отрицательного влияния перекосов на работоспособность резьбовых соединений общего назначения является на современном уровне технического развития одним из эффективных путей повышения надежности соединений этого типа и представляется актуальным направлением исследований.

Цель исследований. Изучение в статистическом аспекте действительных погрешностей взаимного расположения поверхностей и перекосов деталей резьбовых соединений общего назначения, определение влияния перекосов на прочность винтов (шпилек), точность и стабильность их начальной затяжки и разработка рекомендаций, обеспечивающих снижение отрицательного влияния указанных геометрических погрешностей на работоспособность соединений.

Методы исследований. Анализ действительных погрешностей взаимного расположения поверхностей и перекосов деталей резьбовых соединений выполнен методами теории вероятностей и математической статистики. Способность соединений компенсировать перекосы за счет контактных деформаций определена путем измерения угловых переме-



МВТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА

щений резьбовых деталей в процессе затяжки. Напряженно-деформированное состояние винтов (шпилек) изучено методами упругости и пластичности с использованием итерационного интегрирования нелинейных дифференциальных уравнений. Исследование взаимодействия винта (шпильки) и гайки, затянутых в условиях перекоса, выполнено поляризационно-оптическим методом и методом измерения твердости образцов этих деталей. Влияние перекосов и других факторов на соотношения между силой начальной затяжки и моментами трения при завинчивании установлено методами корреляционного анализа экспериментально полученных данных. Оценки долговечности винтов и шпилек, а также стабильности начальной затяжки соединений, работающих в условиях перекосов при переменных нагрузках, даны на основе статистического анализа экспериментально полученных данных.

Научная новизна. Установлены закономерности рассеивания погрешностей взаимного расположения поверхностей и перекосов деталей резьбовых соединений общего назначения. Разработана методика статистической оценки перекосов на основе вероятностного моделирования с помощью ЭВМ. Получены статистические данные, характеризующие способность резьбовых соединений компенсировать перекосы за счет зазоров в резьбе, контактных деформаций и местных пластических обмятий ее витков, а также изгиба резьбового стержня. Изучено напряженно-деформированное состояние винтов и шпилек с учетом случайного характера граничных условий и возможности возникновения пластических деформаций. Оценено влияние перекосов на характер концентрации нагрузки в витках резьбы. Установлена зависимость влияния перекосов на сопротивление винтов и шпилек усталостному разрушению, точность и стабильность начальной затяжки соединений от конструктивных и технологических параметров. Разработана принципиально новая конструкция устройства для измерения силовых факторов, возникающих в резьбовом соединении при затяжке.

Практическая ценность. Разработана методика статистической оценки перекосов, возникающих при сборке резьбовых соединений вследствие случайного сочетания погрешностей взаимного расположения поверхностей деталей.

Установлена зависимость влияния перекосов на напряженно-деформированное состояние и прочность винтов (шпилек), а также точность и стабильность начальной затяжки соединений от основных конструктивных и технологических параметров резьбовых и соединяемых деталей.

Разработаны рекомендации, обеспечивающие снижение отрицатель-

ного влияния погрешностей взаимного расположения поверхностей на работоспособность резьбовых соединений общего назначения. Определены параметры резьбовых и соединяемых деталей, при которых допускаемые существующими нормативами отклонения взаимного расположения поверхностей не оказывают существенного влияния на работоспособность соединений.

Апробация работы. Результаты выполненных исследований доложены дважды на Всесоюзной конференции "Прогрессивные методы повышения прочностных характеристик крепежных соединений, обеспечивающих надежную работу изделий машиностроения", а также на научно-технических конференциях и научно-технических советах ВНИИМонтажспецстроя. Диссертационная работа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры "Детали машин" МВТУ им.Н.Э.Баумана.

"Рекомендации по затяжке резьбовых соединений при монтаже технологического оборудования", в которых использованы результаты выполненных исследований, нашли широкое применение в организациях Минмонтажспецстроя СССР.

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в восьми статьях.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Изложена на 146 страницах машинописного текста, содержит 57 рисунков, 17 таблиц и список использованной литературы из 127 наименований. Приложение к диссертации включает 31 таблицу и один рисунок.

## Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность выбранной темы и цель исследования.

В первой главе дан обзор и выполнен анализ существующих работ по теме исследования, а также поставлены задачи диссертационной работы и намечены пути их решения.

Основные принципы конструирования и методы расчета резьбовых соединений сформулированы в результате исследований отечественных ученых начала нашего столетия – Н.Е.Жуковского, А.И.Сидорова, И.И.Бобарикова и современных – И.А.Биргера, А.И.Якушева, Д.Н.Решетова, Г.Б.Иосилевича. Существенное значение имели исследования зарубежных ученых – Виганда, Иллгнера, Келлермана.

В МВТУ им. Н.Э.Баумана под руководством Д.Н.Решетова выполнен ряд важных работ, посвященных уточнению общей методики расчетов резьбовых соединений, вопросам сопротивления усталости крепежных деталей, работоспособности соединений при нормальной и пониженной температурах.

Вместе с тем, наблюдения показывают, что случаи, в которых существенно снижается эксплуатационная надежность и экономичность многих узлов современных машин из-за ухудшения работоспособности резьбовых соединений, на практике не являются редкими. Существующие методы расчета и рекомендации по конструированию позволяют обеспечить надежную работу резьбовых соединений лишь при достаточном соответствии вводимых в зависимости расчетных параметров средним действительным значениям и при условии, что возможным влиянием неучитываемых факторов, часто возникающих из-за случайных отклонений действительных значений параметров, можно пренебречь.

Недостаточная изученность закономерностей случайных отклонений конструктивных и технологических параметров и влияния указанных отклонений на работоспособность резьбовых соединений не позволяет перейти к прогрессивной форме расчетов по заданной вероятности безотказной работы и давать количественные оценки надежности деталей соединений этого типа.

В расчетах и при конструировании резьбовых соединений обычно учитывается только номинальное взаимное расположение поверхностей резьбовых и соединяемых деталей. В действительности этот случай реализуется редко, поскольку неизбежные погрешности взаимного расположения поверхностей, случайно сочетаясь, приводят к возникновению перекосов стохастического характера и могут оказаться одной из основных причин существенных изменений условий взаимодействия

деталей резьбового соединения при затяжке и эксплуатационном нагружении.

Анализ существующих исследований позволил установить, что к настоящему времени по вопросам влияния перекосов на работоспособность резьбовых соединений и обоснованного нормирования отклонений взаимного расположения поверхностей резьбовых деталей и соединяемых элементов общего назначения сложились весьма противоречивые мнения, связанные с рассмотрением отдельных частных случаев в детерминированной постановке. Имеющиеся рекомендации по этим вопросам носят качественный характер, поскольку не выявлены основные параметры при изменении которых существенно изменяется влияние указанных геометрических погрешностей на работоспособность резьбовых соединений. Статистических данных о величинах и вероятностях возникновения перекосов, а также связи перекосов с действительными погрешностями расположения поверхностей элементов резьбовых соединений общего назначения не установлено.

На основе изучения состояния вопроса намечены следующие задачи исследования:

- исследовать закономерности рассеивания действительных погрешностей взаимного расположения поверхностей и перекосов деталей резьбовых соединений, точность которых соответствует установленным общемашиностроительным нормам;

- изучить в статистическом аспекте способность резьбовых соединений компенсировать указанные погрешности;

- уточнить действительные граничные условия винтов и шпилек и установить влияние случайных перекосов на напряженное состояние и прочность этих резьбовых деталей;

- оценить влияние действительных перекосов на сопротивление винтов и шпилек усталостному разрушению, стабильность начальной затяжки резьбовых соединений, а также на соотношения между силой начальной затяжки и моментами трения при завинчивании;

- выявить сочетания конструктивных и технологических параметров при изменении которых существенно изменяется влияние погрешностей взаимного расположения поверхностей на работоспособность резьбовых соединений, наметить пути эффективного снижения указанного влияния.

Во второй главе диссертации изучены закономерности рассеивания действительных погрешностей взаимного расположения поверхностей и выполнен вероятностно-статистический анализ перекосов деталей резьбовых соединений общего назначения. Разработана методика

статистической оценки перекосов на основе метода вероятностного моделирования погрешностей взаимного расположения поверхностей деталей резьбовых соединений, позволяющая, в частности, проводить обоснование или корректировку нормативных требований к точности элементов соединений этого типа.

Взаимный перекос торцевой плоскости гайки (головки винта) и опорной плоскости соединяемого элемента формируется в резьбовом соединении вследствие случайного сочетания 4÷6 отклонений расположения поверхностей деталей.

Закономерности рассеивания погрешностей взаимного расположения поверхностей установлены для различных деталей резьбовых соединений общего назначения - винтов, шпилек, гаек, шайб, соединяемых элементов различных типов, на основе анализа экспериментально полученных данных. При этом показано, что рассеивания отклонений от параллельности опорных плоскостей соединяемых элементов, а также отклонений от перпендикулярности осей резьбовых и цилиндрических поверхностей к опорным плоскостям подчиняются функции распределения Релея. Случайный характер сочетания этих погрешностей в резьбовом соединении согласуется с функцией равной плотности вероятности. В связи с этим, при статистическом анализе углов взаимного перекоса торца гайки (головки винта) и опорной плоскости соединяемого элемента погрешности взаимного расположения деталей рассматривали как векторы случайные по величине и направлению. Распределение вероятностей углов указанного перекоса получено с помощью ЭВМ по методу статистических испытаний (методу Монте Карло) для резьбовых соединений винтом, шпилькой и болтом различных классов точности. Величину угла перекоса $\alpha$, при каждой конкретной реализации случайных погрешностей взаимного расположения - $\alpha_i$, определяли из соотношения $\alpha = [(\sum_{i=1}^{n} \alpha_i \cdot \sin\theta_i)^2 + (\sum_{i=1}^{n} \alpha_i \cdot \cos\theta_i)^2]^{1/2}$. В этой формуле параметры $\theta_i$ учитывают случайный характер сочетания погрешностей $\alpha_i$, где $i = 1,2,\ldots n$, и характеризуются углами, определяющими взаимное расположение величин $\alpha_i$.

Некоторые результаты статистической оценки относительных частот рассеивания величин углов перекоса для различных классов точности деталей резьбовых соединений представлены на рис.1.

Резьбовая посадка винта (шпильки) и гайки с гарантированным зазором позволяет компенсировать некоторую часть угла взаимного перекоса торца гайки и опорной плоскости соединяемой детали. При этом резьбовые поверхности винта (шпильки) и гайки устанавливаются с перекосом и имеют первоначальный (до затяжки) взаимный контакт

практически в трех точках. Затяжка приводит к уменьшению угла взаимного перекоса торца гайки и опорной плоскости соединяемого элемента в основном за счет возрастания неравномерности контактных деформаций соприкасающихся поверхностей, а также изгибных деформаций витков резьбы и крепежного стержня. При этом указанный перекос уменьшается быстрее, чем происходит нарастание изгибных деформаций затягиваемого стержня винта (шпильки). Однако измерения показали, что продолжение затяжки при полном прилегании торца гайки к детали сопровождается увеличением изгибных деформаций стержня винта (шпильки) за счет уменьшения неравномерности зазора между резьбовыми поверхностями, т.е. взаимного перекоса этих поверхностей. Результаты исследований позволили установить, что гарантированный зазор в резьбе нельзя считать параметром, увеличение которого способствует уменьшению изгибных напряжений и деформаций затягиваемых в условиях перекосов винтов (шпилек). Угловая деформация затянутого стержня винта (шпильки) на его полной длине зависит от суммы углов взаимного перекоса торца гайки и опорной плоскости соединяемой детали и взаимного перекоса резьбовых поверхностей, сформировавшихся в результате случайного сочетания погрешностей расположения поверхностей. Результаты статистического анализа перекосов, выполненного с учетом компенсирующей способности резьбовых соединений, показывают ,что при практическом отсутствии перекосов, т.е. при номинальном взаимном расположении поверхностей осуществляется затяжка в среднем от 14 до 22% всех резьбовых соединений общего назначения, элементы которых соответствуют существующим нормам точности. В условиях незначительных перекосов не превышающих $0^{\circ}30'$ - от 58 до 12%, с перекосами $0^{\circ}30'$ + $1^{\circ}00'$ - от 26 до 38%, с перекосами превышающими $1^{\circ}00'$ - от 2 до 28%. Первая цифра приведенных процентных диапазонов относится к резьбовым соединениям,крепежные детали которых соответствуют точному классу общемашиностроительных норм, вторая - грубому. Указанные данные согласуются с результатами экспериментальной статистической оценки перекосов, которые были измерены в подлежащих сборке реальных резьбовых соединениях.

<u>В третьей главе</u> диссертации выполнен анализ напряженно-деформированного состояния стержней винтов (шпилек), работающих в условиях перекосов под действием силы начальной затяжки, внешней осевой нагрузки, изгибающего момента и поперечной силы. При этом учитывали, что граничные условия - прогибы и углы взаимного поворота поперечных сечений, расположенных на концах стержня винта (шпильки), ограничены, соответственно, случайными значениями зазора между стенкой отверстия

и телом винта (шпильки) и углом перекоса $\alpha$. Под углом перекоса здесь следует понимать предельное значение угловой деформации затянутого винта (шпильки) на его полной длине, вызванной погрешностями взаимного расположения поверхностей элементов резьбового соединения.

Анализ силовых факторов показал, что в связи со стохастическим характером граничных условий необходимо рассматривать следующие четыре случая взаимного расположения поверхностей винта (шпильки), гайки и соединяемой детали в затянутом резьбовом соединении, при которых: I) торец гайки (головки винта) не прилегает к опорной плоскости соединяемой детали и стержень винта (шпильки) не соприкасается со стенкой отверстия; 2) торец гайки прилегает к детали, но винт не соприкасается со стенкой отверстия; 3) торец гайки не прилегает к детали, но винт (шпильки) имеет контакт со стенкой детали; 4) гайка прилегает к детали и винт (шпилька) имеет контакт со стенкой отверстия. Статистический анализ и экспериментальная проверка граничных условий затянутых винтов (шпилек) позволили определить сочетания конструктивных и технологических параметров деталей резьбовых соединений при которых реализация каждого из перечисленных случаев является наиболее вероятной. В частности, показано, что уменьшение напряжений начальной затяжки - $\sigma_0$ и отношения длины стержня винта (шпильки) к диаметру - $\ell/d$, а также ограничение его прогибов стенками отверстия, имеющее место при отсутствии или недостаточной величине первоначального зазора $\delta$, приводят к возрастанию вероятности того, что в затянутом резьбовом соединении не будет наблюдаться прилегания торца гайки (головки винта) к детали.

Анализ напряженного состояния винтов (шпилек), выполненный с учетом действительных граничных условий, показал, что даже незначительные по величине перекосы приводят к возникновению упругопластических деформаций (рис.2). В расчетах принята линейная аппроксимация диаграмм деформирования материалов резьбовых деталей. Вероятности возникновения упругопластических деформаций установлены для различных соотношений конструктивных параметров винтов (шпилек) в зависимости от напряжений начальной затяжки и точности взаимного расположения поверхностей деталей резьбового соединения. Выполненные аналитические исследования также показали, что упругопластические деформации должны приводить к снижению напряжений начальной затяжки соединений, работающих при неполном прилегании торца гайки (головки винта) к соединяемой детали, или резьбовых поверхностей гайки и шпильки (винта), а также уменьшению величины внешней осевой нагрузки,

достаточной для раскрытия стыка соединяемых деталей.

В четвертой главе выполнен комплекс экспериментальных исследований на базе специально разработанных измерительных устройств, целью которых явилось: 1) уточнение характера взаимодействия резьбовых деталей в условиях перекоса; 2) оценка влияния перекосов на соотношения между силой затяжки и моментами трения при завинчивании, а также на задиростойкость резьбы; 3) определение влияния перекосов на сопротивление винтов (шпилек) усталостному разрушению и на стабильность силы начальной затяжки резьбовых соединений.

Исследование взаимодействия натурных образцов резьбовых деталей - винтов и гаек, а также моделей, выполненных из оптически чувствительного материала, показало, что совместное действие силы затяжки и, вызванного перекосом, изгибающего момента приводит к существенному увеличению концентрации нагрузки на одних участках контактирующих витков резьбы, а на других - к некоторому ее выравниванию. При этом нагрузка концентрируется не только по виткам резьбы (длине свинчивания), как в резьбовой паре затянутой без перекоса, но и по поверхности одного и того же витка. Наличие первоначального зазора между резьбовыми поверхностями, допускаемого стандартными посадками, во многих случаях приводит к тому, что фактическая площадь контакта резьбы даже в затянутом соединении оказывается из-за перекосов существенно меньше номинальной, что также способствует концентрации нагрузки.

На основе многочисленных измерений, выполненных с использованием планов двухфакторного многоуровневого и многофакторного двухуровневого экспериментов, установлено корреляционное влияние перекосов на соотношения между силой начальной затяжки и моментами трения, возникающими при завинчивании. Методами регрессионного анализа установлено, что влияние перекосов усиливается с уменьшением относительной длины стержня винта (шпильки) - $\ell/d$ , относительной высоты гайки (длины свинчивания) - $h/d$ , где $d$ - диаметр стержня, снижением точности взаимного расположения поверхностей деталей резьбового соединения, а также устранением смазки или покрытия с трущихся при затяжке поверхностей. В частности, показано, что случайные перекосы являются одной из основных причин снижения точности контроля силы затяжки по величине момента завинчивания. Способствуя дополнительной концентрации нагрузки на взаимодействующих участках резьбовых, а также торцевых поверхностей, перекосы приводят во многих случаях к возникновению задиров или существенному изменению параметров шероховатости этих поверхностей.

Установлено, что влияние погрешностей взаимного расположения поверхностей на сопротивление усталостному разрушению винтов (шпилек) и стабильность силы начальной затяжки резьбовых соединений при переменных внешних нагрузках в значительной степени зависит от таких параметров, как: уровень напряжений затяжки – $\sigma_0/\sigma_T$, отношение – $\ell/d$, а также условий установки резьбового стержня в отверстие детали – с зазором или без зазора. С увеличением $\ell/d$ и $\sigma_0/\sigma_T$ при заданном значении угла перекоса и отсутствии взаимного контакта резьбового стержня и соединяемой детали характеристики сопротивления усталости шпилек и винтов – предельная амплитуда цикла, циклическая долговечность и предел выносливости повышаются. Предварительное статическое нагружение до напряжений соответствующих пределу текучести материала винта (шпильки) с последующим ослаблением до заданного уровня напряжений $\sigma_0/\sigma_T$ приводит к существенному повышению характеристик усталости. При отсутствии перекосов изменение указанных параметров не отражается на изменении характеристик сопротивления усталости и стабильности силы начальной затяжки.

В результате выполненных исследований показана целесообразность обоснования допускаемых отклонений взаимного расположения поверхностей не только зависимости от номинального диаметра $d$, как это имеет место в существующих нормативах, но и с учетом параметра $\ell/d$ и условий установки стержня винта или шпильки в отверстии соединяемых деталей.

## Общие выводы

1. Влияние погрешностей взаимного расположения поверхностей на работоспособность резьбовых соединений общего назначения, не учитываемое в расчетах, является одной из основных причин сравнительно большого числа случаев, в которых прочность винтов и шпилек, точность и стабильность затяжки соединений недопустимо ниже заданных.

2. Взаимный перекос торца гайки (головки винта) и опорной плоскости соединяемой детали формируется в результате случайного сочетания неизбежных погрешностей расположения поверхностей 4÷6 элементов резьбового соединения и носит стохастический характер. Измерения (более 6000 образцов винтов и гаек с резьбой М12–М16, шайб и соединяемых элементов, соответствующих отмеченным размерам резьбы) позволили установить, что при статистической оценке указанного перекоса рассеивания отклонений от параллельности опорных плоскостей и от перпендикулярности осей резьбовых поверхностей к опорным плоскостям элементов соединений общего назначения следует характеризовать функцией распределения Релея, при этом случайный характер сочетания от-

клонений расположения поверхностей – функцией равной плотности вероятности. Параметры распределений допустимых погрешностей следует определять исходя из заданной вероятности того, что отклонения взаимного расположения поверхностей не превысят нормированных (предельных) значений.

3. Уменьшение угла взаимного перекоса торцов гайки (головки винта) и соединяемой детали за счет увеличения зазора в резьбе приводит к возрастанию величины угла взаимного перекоса резьбовых поверхностей и не устраняет изгиба винта или шпильки при затяжке.

Методом измерения угловых перемещений деталей резьбовых соединений установлено, что компенсация суммы углов взаимного перекоса резьбовых поверхностей и взаимного перекоса торцов гайки (головки винта) и соединяемой детали происходит при затяжке в основном за счет изгибных деформаций стержня шпильки (винта), а также неравномерности контактных деформаций и местных пластических обмятий витков резьбы.

4. Результаты измерений, а также данные, полученные с использованием метода вероятностного моделирования погрешностей (метода Монте-Карло), позволили установить, что при практическом отсутствии перекосов затягивается в среднем от I4 до 22% всех резьбовых соединений общего назначения, элементы которых соответствуют существующим нормам точности. В условиях незначительных перекосов, не превышающих $0^{\circ}30'$, – от 58 до I2%, с перекосами $0^{\circ}30'$+$I^{\circ}00'$ – от 26 до 38%, с перекосами, превышающими $I^{\circ}00'$, – от 2 до 28%. Первая цифра приведенных процентных диапазонов относится к резьбовым соединениям, детали которых соответствуют точному классу общемашиностроительных норм, вторая – грубому.

5. Статистический анализ взаимного расположения деталей резьбовых соединений показал, что предложенные к настоящему времени четыре основные расчетные схемы винтов (шпилек), в которых учитывается перекос, отражают лишь частные случаи. Каждая из них дает достоверные результаты лишь для определенных сочетаний конструктивных и технологических параметров резьбовых соединений. Вероятность возникновения наиболее неблагоприятного (с точки зрения работоспособности затянутого соединения) расчетного случая, при котором необходимо учитывать, что гайка (головка винта) не полностью прилегает к соединяемой детали или между резьбовыми поверхностями сохраняется неравномерный зазор (перекос в резьбе), возрастает с уменьшением отношения длины нагруженной части стержня винта (шпильки) к его диаметру – $l/d$, снижением точности взаимного расположения поверхностей, уменьшением

напряжений начальной затяжки – $\sigma_0$, повышением класса прочности резьбовых деталей, а также при ограничении прогибов резьбового стержня стенками отверстия соединяемой детали. Для резьбовых соединений, элемен ы которых соответствуют точному классу общемашиностроительных норм, при $\ell/d \geq 12$, $\sigma_0 \geq 0{,}4 \cdot \sigma_T$, где $\sigma_T$ – предел текучести материала винта (шпильки), и условии, что изгиб стержня не ограничен стенками отверстия, указанный случай возникает крайне редко, поэтому перекосы можно не учитывать.

6. С использованием поляризационно-оптического метода установлено, что перекосы способствуют неравномерности распределения нагрузки не только по виткам резьбы (высоте свинчивания), но и по поверхности каждого отдельного витка.

Результаты испытаний на усталость (свыше 150 образцов шпилек и винтов с резьбой М8÷М12, отношением $\ell/d = 2 \div 4$, классов прочности 4.6÷6.8) позволили обнаружить, что из-за увеличения концентрации нагрузки на определенных участках поверхности наиболее напряженного витка резьбы, а также из-за возрастания амплитуды переменной составляющей этой нагрузки, наблюдаемого при неполном прилегании торца гайки (головки винта) к опорной плоскости соединяемой детали или резьбовых поверхностей на всей длине свинчивания, снижается предельная амплитуда напряжений указанных образцов более чем в 2 раза.

7. Изменение номинального диаметра резьбы в меньшей степени оказывает влияние на сопротивление усталости шпилек, чем изменение отношения $\ell/d$ при одном и том же значении перекоса и других параметров. Это отношение следует рассматривать как один из основных масштабных факторов, от которых существенно зависит влияние погрешностей взаимного расположения поверхностей на работоспособность резьбовых соединений.

8. Взаимный перекос торцов гайки и соединяемой детали и перекос в резьбе, сохраняющиеся в затянутом соединении, оказываются одной из основных причин существенного (до 60% по полученным опытным данным) снижения силы начальной затяжки при возникновении переменных внешних нагрузок, т.е. ухудшения стабильности затяжки.

9. Установлено, что соединение шпилькой при возникновении перекоса обладает большей компенсирующей способностью, чем соединение винтом и, как следствие, повышенным сопротивлением усталостному разрушению. При малых отношениях $\ell/d$ применение коротких шпилек является предпочтительным по критерию долговечности по сравнению с применением винтов тех же размеров.

IO. С помощью разработанного измерительного устройства получены статистические данные, показывающие, что случайные перекосы способствуют существенному увеличению рассеивания значений силы начальной затяжки при ее контроле по моменту завинчивания. Точность контроля этой силы по моменту завинчивания из-за неизбежных перекосов не может превышать ±5 ÷ ±7% для соединений, резьбовые детали которых соответствуют точному, ±9 ÷ ±II% - среднему и ±I2 ÷ ±I5% грубому классу общемашиностроительных норм точности.

II. Подтверждено, что с увеличением класса прочности резьбовых деталей усиливается отрицательное влияние погрешностей взаимного расположения поверхностей на сопротивление усталости винтов и шпилек. Установлено, что эти погрешности являются одним из основных факторов, сдерживающим возможность эффективного увеличения сопротивления усталости винтов и шпилек за счет повышения статической прочности их материалов, поскольку существующие нормы точности для взаимного расположения поверхностей деталей резьбовых соединений общего назначения установлены без учета указанного влияния.

Результаты выполненных исследований внедрены в "Рекомендациях по затяжке резьбовых соединений при монтаже технологического оборудования" (М., ЦБНТИ Минмонтажспецстроя, I98I, 60 с.), а также учтены при разработке ГОСТ 24379.0-80 и 24379.I-80 "Болты фундаментные. Общие технические условия. Конструкции и размеры". Вместе с тем, они полезны при пересмотре или корректировке существующих требований к точности взаимного расположения поверхностей деталей резьбовых соединений и выполнении вероятностного анализа с учетом рассеивания вводимых в расчеты параметров точности.

Основное содержание работы отражено в следующих публикациях:

I. Белов А.В. Исследование взаимодействия резьбовых деталей с учетом погрешностей монтажа. В сб.: Механизация механомонтажных работ. М.: ВНИИмонтажспецстрой, I98I, с.3I-37.

2. А.с.86I994 [СССР]. Устройство для измерения параметров затяжки резьбовых соединений/А.В.Белов, П.П.Алексеенко, Л.А.Григорьев, А.Н.Виноградов. - Заявл.0I.02.80. № 2879I83/I8-I0; Опубл. в Б.И., I98I, № 33; МКИ *G0IL* 5/24.- УДК 53I.78I.

3. Решетов Д.Н., Белов А.В., Алексеенко П.П. Анализ напряженно-деформированного состояния винтов (шпилек) с учетом перекосов случайного характера. - Прогрессивные методы повышения прочностных характеристик крепежных соединений: Тр.Всесоюзн.конф. - Уфа: УАИ, I98I, с.I4-I5.

4. Алексеенко П.П., Белов А.В. Анализ геометрических погрешностей резьбовых соединений при монтаже. – В сб.: Механизация механомонтажных работ. М.: ВНИИмонтажспецстрой, 1981, с.3–12.

5. Алексеенко П.П., Белов А.В., Григорьев Л.А. Вероятностный анализ перекосов деталей резьбовых соединений. – Прогрессивные методы повышения прочностных характеристик крепежных соединений: Тр. Всесоюзн.конф. – Уфа: УАИ, 1981, с.133.

6. Алексеенко П.П., Белов А.В. Вероятностный анализ компенсации перекосов при сборке резьбовых соединений. – В сб.: Исследование методов монтажа оборудования и трубопроводов. М.: ВНИИмонтажспецстрой, 1979, с.26–33.

7. Алексеенко П.П., Григорьев Л.А., Белов А.В. Контроль затяжки по относительным деформациям крепежных и соединяемых деталей. – В сб.: Исследование методов монтажа оборудования и трубопроводов. М.: ВНИИмонтажспецстрой, 1978, с.86–93.

8. Влияние качества изготовления резьбовых соединений на трудоемкость и эффективность их сборки/П.П.Алексеенко, А.В.Белов, Л.А.Григорьев, В.В.Гедеонов. – В сб.: Исследование методов монтажа оборудования и трубопроводов. М.: ВНИИмонтажспецстрой, 1978, с.100–108.

9. Рекомендации по затяжке резьбовых соединений при монтаже технологического оборудования/П.П.Алексеенко, Л.А.Григорьев, А.В.Белов, Л.А.Кривомазов. М.: ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1981. – 60 с.

Белов.

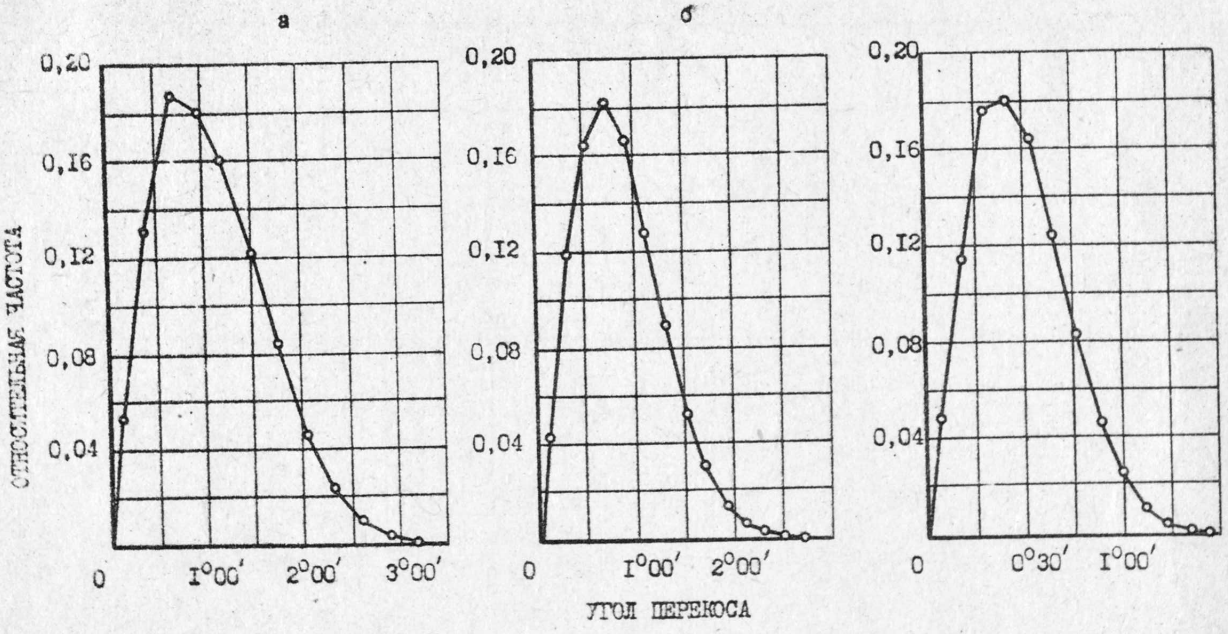



Рис.I. Результаты статистической оценки перекосов для грубого (а), среднего (б) и точного (в) классов точности крепежных деталей.

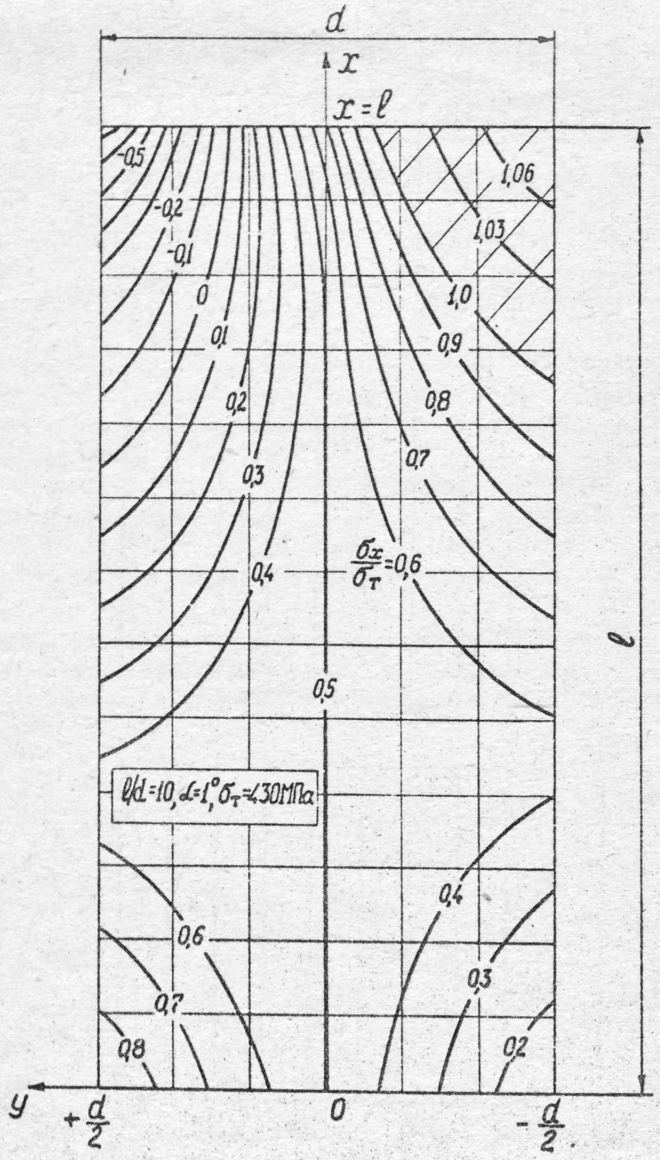



Рис.2. Линии равных напряжений $\sigma_x$ в осевом сечении стержня винта (шпильки), затянутого с перекосом.



МВТУ
им. Н.Э. Баумана
БИБЛИОТЕКА