М 320616

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

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

На правах рукописи

КУРЕНКОВ Станислав Валентинович

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

(Специальность 05.02.02 – Машиноведение
и детали машин)

**А в т о р е ф е р а т**
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 1978

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

С С С Р

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

На правах рукописи

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана
1320616
Куренков С.В. Исследование

КУРЕНКОВ Станислав Валентинович

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

(Специальность 05.02.02 – Машиноведение и детали машин)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

№ 1320616

Москва 1978

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

Научный руководитель: заслуженный деятель науки и техники РСФСР, д.т.н., профессор РЕШЕТОВ Д.Н.

Официальные оппоненты:

д.т.н., профессор ИОСИЛЕВИЧ Г.Б.,
к.т.н., доцент КУКЛИН В.Б.

Ведущая организация - ВНИИНМАШ.

Автореферат разослан "20" января 1978 г.

Защита диссертации состоится "20" февраля 1978 г. на заседании Ученого Совета "Машиностроение" Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища имени Н.Э. Баумана по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., дом. 5.

Ваши отзывы в 2-х экз., заверенные печатью, просьба выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им. Н.Э. Баумана.

Ученый секретарь Совета
к.т.н., с.н.с. ПОПОВ П.К.

МВТУ
им. Н.Э. Баумана
ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ
БИБЛИОТЕКА

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

А к т у а л ь н о с т ь . Действующий ГОСТ 1759-70 на резьбовые детали, изготовляемые на специализированных предприятиях метизной промышленности, устанавливает для болтов, винтов и шпилек двенадцать классов прочности, которые регламентируют только статическую прочность. Ударная прочность, хладостойкость и прочность при переменных напряжениях стандартом не регламентированы.

Волокнистое строение и наклеп, получаемые при изготовлении крепежа из сталей 10, 15, 20 спокойных и кипящих плавок и из сталей 30, 35, 40, 45 прогрессивным методом холодной пластической деформации по технологическим процессам с однократным и многократным редуцированием и с накаткой резьбы до и после термообработки, которая может быть закалкой, улучшением, нормализацией, повышают статическую прочность резьбовых соединений и могут сложно влиять на ударную прочность, хладостойкость и на прочность при переменных напряжениях.

Поэтому исследования ударной прочности, хладостойкости, прочности при переменных напряжениях и исследования эксплуатационной нагруженности наиболее широко распространенных резьбовых соединений с резьбовыми деталями по ГОСТ 1759-70 являются актуальными и имеют большое значение.

З а д а ч и  р а б о т ы :

1. Исследование ударной прочности и хладостойкости и разработка методики оценки надежности затянутых резьбовых соединений с резьбовыми деталями по ГОСТ 1759-70 при однократном ударе, нормальной (+20°С) и пониженных (до -85°С) температурах.

2. Исследование циклической прочности и получение характеристик сопротивления усталости затянутых резьбовых соединений с резьбовыми деталями по ГОСТ 1759-70.

3. Разработка на базе стандартных резьбовых деталей резьбовых соединений повышенной циклической прочности и их исследование.

4. Исследование и разработка методики определения спектров эксплуатационных нагрузок, действующих в резьбовых соединениях транспортных машин, в которых используется большое количество резьбовых деталей по ГОСТ 1759-70.

Методы исследования. В реферируемой работе использовались методы теории вероятностей и математической статистики, методы механики материалов, метод ускоренных испытаний затянутых резьбовых соединений на выносливость на специальном стенде, метод ударных испытаний затянутых резьбовых соединений на специальном копре с пневмоускорителем в интервале температур +20°С ... -85°С, метод тензометрирования осевых нагрузок в резьбовых соединениях транспортных машин при дорожно-полевых испытаниях.

Научная новизна. Впервые выполнены комплексные исследования ударной прочности, хладостойкости, прочности при переменных амплитудах напряжений затянутых резьбовых соединений с резьбовыми деталями по ГОСТ 1759-70 и исследована эксплуатационная нагруженность резьбовых соединений транспортных машин. Основным достижением реферируемой работы является разработка методики оценки надежности затянутых резьбовых соединений при однократном ударе нормальной и пониженных температурах, методики определения эксплуатационной нагруженности резьбовых соединений транспортных машин для регламентированных условий эксплуатации, разработка резьбовых соединений с повышенной циклической прочностью и получение характеристик ударной прочности, хладостойкости и сопротивления усталости затянутых резьбовых соединений с резьбовыми деталями по ГОСТ 1759-70.

Практическая ценность. Проведенные исследования повышают эффективность резьбовых деталей специализированного массового производства в народном хозяйстве. Результаты работы могут быть непосредственно использованы при расчетах затянутых резьбовых соединений с резьбовыми деталями по ГОСТ 1759-70 при однократном ударе нормальной и пониженных до -85°С температурах и при циклических нагрузках с переменной амплитудой, а также найдут широкое применение при разработке новой редакции ГОСТ 1759-70.

А п р о б а ц и я  р а б о т ы . Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на заседании кафедры деталей машин Московского высшего технического училища им. Н.Э.Баумана в 1976 г., на XXУП и XXУШ научно-технических конференциях Пензенского политехнического института в 1976 и 1977 г.г., на научно-технической конференции Всесоюзного проектно-конструкторского и технологического института мебели (г. Москва) в 1975 г., на научно-техническом совете Всесоюзного научно-исследовательского института по нормализации в машиностроении (г. Москва) в 1978 г., на научно-техническом совете Всесоюзного научно-исследовательского института метизной промышленности (г. Магнитогорск) в 1978 г.

П у б л и к а ц и и . Основные положения диссертации опубликованы в трех печатных работах.

О б ъ е м  и  с т р у к т у р а  р а б о т ы . Диссертация изложена на 153 стр., включает 71 рисунок и 14 таблиц и содержит введение, пять глав, заключение и список литературы из 81 наименования.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В о  в в е д е н и и  рассмотрены достигнутые к настоящему времени результаты исследований прочности резьбовых соединений с резьбовыми деталями по ГОСТ 1759-70. В достаточной мере исследована только статическая прочность резьбовых соединений. Далее дан общий обзор проведенных автором реферируемой работы исследований и достигнутых результатов, которые и составляют предмет защиты.

В  п е р в о й  главе дан краткий обзор исследований прочности резьбовых соединений и сформулированы задачи исследования, выполненного автором реферируемой работы. Прочность резьбовых соединений исследовалась в широко известных работах Жуковского Н.Е., Биргера И.А., Иосилевича Г.Б., Якушева А.И., Хэйвуда Р.Б., Виганда Н. и в работах многих других исследователей. Основные достигнутые результаты в исследовании прочности резьбовых соединений с резьбовыми деталями специализированного

массового производства принадлежат Байкову Б.А., Дроздову Н.А., Мокринскому В.И., Решетову Д.Н., Ригманду Б.М., Тарханову В.И.

В о в т о р о й главе изложены исследования прочности затянутых до (0,6 ...0,7) $\sigma_т$ резьбовых соединений с резьбовыми деталями по ГОСТ 1759-70 при однократном ударе нормальных и пониженных до -85°С температурах.

Испытания резьбовых соединений с резьбовыми деталями М10, М12, М16 из сталей 10, 15, 20 спокойных и кипящих плавок и из стали 45 по восьми технологическим процессам (табл.1) были проведены на специальном копре с пневмоускорителем. Скорость движения бойка перед ударом равнялась 15 м/с.

При испытаниях регистрировалось место разрушения - середина свободного участка резьбы или впадина между первым опорным и неопорным витками резьбы и определялась энергоемкость разрушения. Отношения числа $n$ резьбовых соединений, разрушенных в месте повышенной концентрации напряжений - во впадине между первым опорным и неопорным витками резьбы к общему числу испытанных резьбовых соединений приняты в реферируемой работе за оценки вероятностей $Q(t)$ перехода болтов в хрупкое состояние

$$Q(t) = n/N. \qquad (1)$$

На рис.1 для примера показано эмпирическое распределение в зависимости от температуры вероятностей $Q(t)$ и энергоемкостей $A(t)$ разрушения резьбовых соединений с болтами М12.8g x 110.58 (партия 13). Расположение значений $Q(t)$ вблизи прямой линии на нормальной вероятностной бумаге показывает, что распределение $Q(t)$ не противоречит нормальному закону, а рассеивание критических температур $t_x$ хрупкости может быть аппроксимировано законом нормального распределения. Всего было испытано шестнадцать партий - свыше 350 резьбовых соединений.

Надежность $P$ затянутых резьбовых соединений при однократном ударе и пониженных температурах представлена в реферируемой работе в виде

$$P = 1 - Q(t) \cdot Q(A), \qquad (2)$$

где $Q(A)$ - вероятность разрушения затянутых резьбовых соединений с болтами, находящимися в хрупком состоянии с некоторой

Таблица I

| № партии | Размер сечения | Марка стали | Тех-процесс | Класс прочности |
|---|---|---|---|---|
| I | М16 | 20 кп | I | 6.8 |
| 2 | М12 | | | 5.8 |
| 3 | М10 | | | 6.8 |
| 4 | М12 | 15 кп | | 5.8 |
| 5 | М10 | 20 сп | | 6.8 |
| 6 | | | | |
| 7 | М12 | 10 сп | | 5.8 |
| 8 | М16 | 10 кп | II | 3.6 |
| 9 | М12 | 20 кп | | 4.6 |
| 10 | М10 | | | |
| II | М12 | 45 | III | 10.9 |
| 12 | М10 | 20 кп | IУ | 6.8 |
| 13 | М12 | | У | 5.8 |
| 14 | | | УI | |
| 15 | | | УП | |
| 16 | | | УШ | 4.8 |

* I – однократное редуцирование стержня, двухкратная высадка головки болта, накатывание резьбы; II – то же и нормализация; III – то же, что I и закалка; IУ – двухкратное редуцирование стержня; двухкратная высадка головки болта, накатывание резьбы; У – волочение подката ФI3 до ФII,5 (степень обжатия (СО) 20%), редуцирование стержня до Ф 10,8 (СО 15%), накатывание резьбы; УI – то же, что У и нормализация; УП – волочение подката ФI2 до ФII,5 (СО 6%), редуцирование стержня до ФI0,8 (СО 15%), накатывание резьбы; УШ – то же, что У, но перед накатыванием резьбы отжиг.

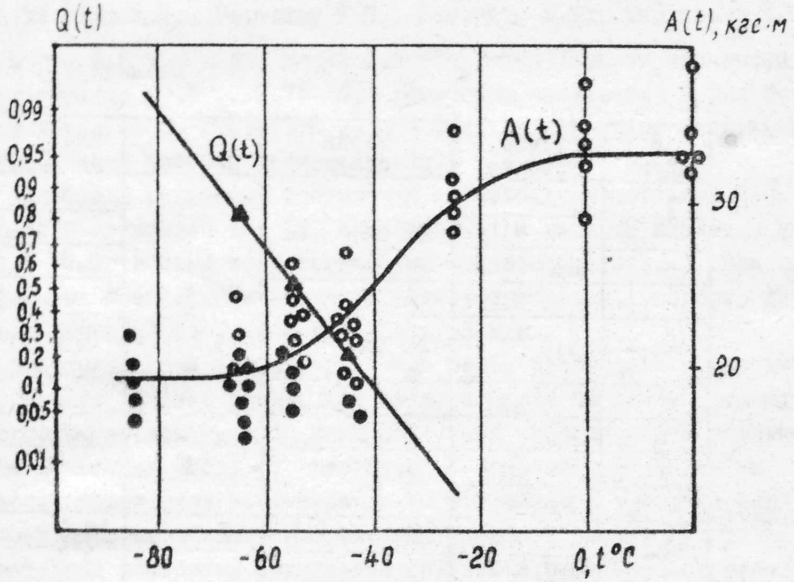



Рис.I

вероятностью $Q(t)$. В общем случае вероятности $Q(t)$ и $Q(A)$ могут быть определены на основе соотношения теории вероятностей, содержащего функцию распределения разности двух случайных величин: для $Q(t)$ – температур $t_э$ эксплуатации и критических температур $t_x$ хрупкости

$$Q(t) = Q(t_э - t_x < 0) = \int_{t_{э1}}^{t_{э2}} f_{t_x} \, \Phi_{t_э}(t_x) \, dt_x , \qquad (3)$$

(здесь $f_{t_x}$ – плотность распределения $t_x$ ; $\Phi_{t_э}(t_x)$ – интегральная функция распределения $t_э$ при $t_э = t_x$

$$\Phi_{t_э}(t_x) = \int_{t_{x1}}^{t_{x2}} f_{t_э}(t_э) \, dt_э , \qquad (4)$$

где $f_{t_э}(t_э)$ – плотность распределения $t_э$ )

и для $Q(A)$ - энергии $W$ удара и предельной энергоемкости $A$ разрушения резьбовых соединений с болтами, находящимися в хрупком состоянии

$$Q(A) = Q(A-W<0) = \int_0^W f_A \cdot \Phi_W(A)\, dA, \qquad (5)$$

(здесь $f_A$ - плотность распределения $A$ ; $\Phi_W(A)$ - интегральная функция распределения $W$ при $W = A$

$$\Phi_W(A) = \int_0^A f_W(W)\, dW, \qquad (6)$$

где $f_W(W)$ - плотность распределения $W$ ). При $t_э$ , задаваемых, как правило, односторонним интервалом, например $-40^0$С или $-60^0$С и при распределении $t_x$ , $W$ , $A$ по нормальному закону со средними значениями $\bar{t}_x$ , $\bar{W}$ , $\bar{A}$ и средними квадратическими отклонениями $S_{t_x}$ , $S_W$ , $S_A$ вероятности $Q(t)$ и $Q(A)$ могут быть определены по таблицам нормального закона в зависимости от квантилей $u_{Q(t)}$ , $u_{Q(A)}$

$$u_{Q(t)} = (t_{0,5} - t_э) / S_{t_x}, \qquad (7)$$

$$u_{Q(A)} = -(\bar{A} - \bar{W}) / \sqrt{S_A^2 + S_W^2}. \qquad (8)$$

Экспериментальные значения $S_{t_x}$ и критических температур $t_{0,5}$ хрупкости, соответствующих $Q(t)$ = 0,5, составили для МI2 ($9^0$С ... II$^0$С) и ($-53^0$С ... $-58^0$С) и для МI6 (II$^0$С ... I3$^0$С) и ($-48^0$С ... $-52^0$С). Значения $\bar{A}$ и $S_A$ могут быть определены для исследованных резьбовых соединений по зависимостям

$$\bar{A} = \bar{a} \cdot F, \qquad (9)$$

$$S_A = S_a \cdot F, \qquad (10)$$

где $\bar{a}$ - средняя удельная работа хрупкого разрушения, равная для МI6 (I5...20) кгс·м/см$^2$ и для МI2 (20 ... 25) кгс·м/см$^2$, $F$ - расчетная площадь сечения болта; $S_a$ - среднее квадрати-

ческое отклонение удельной работы хрупкого разрушения, равное для М16 (1,2 ... 1,4) кгс·м/см$^2$ и для М12 (1,6 ... 1,8) кгс·м/см$^2$.

Методика оценки надежности затянутых резьбовых соединений при однократном ударе и пониженных температурах иллюстрирована в реферируемой работе числовым примером.

В третьей главе изложены исследования циклической прочности затянутых до $\sigma_m = 0{,}75\,\sigma_T$ резьбовых соединений при переменных напряжениях, изменяющихся между уровнями $\sigma_2$ и $\sigma_1 = 1{,}5\,\sigma_2$, что соответствует максимальному повреждающему действию блока с таким соотношением напряжений, а длительности $N_1$ и $N_2$ ступеней блока определялись из условия равенства накопленных усталостных повреждений

$$\sigma_1^m N_1 = \sigma_2^m N_2 . \qquad (11)$$

Испытания были проведены на машине для ускоренных испытаний крепежных винтов на выносливость с механизмом программного нагружения. Частота циклического нагружения в одинаковых условиях четырех резьбовых соединений равнялась 45 Гц, база испытаний для постоянного режима нагружения составила $2\cdot10^7$ и для переменного $10^8$ циклов. Всего было испытано свыше 300 резьбовых соединений с болтами М12.8$g$ x 110.58 по ГОСТ 1759-70 из сталей 20, 20 кп, ст. 3 кп. Обработка данных усталостных испытаний в области ограниченного ресурса была выполнена по методу линейного регрессионного анализа с построением линий регрессии, выражающих корреляционную связь между предельными амплитудами циклических напряжений $\sigma_{an}$ и числом $N$ циклов до разрушения для зависимостей вида

$$m \lg \sigma_{an} + \lg N = \lg C \qquad (12)$$

и в предположении, что рассеивание $\lg \sigma_{an}$ и $\lg N$ описывается нормальным законом. Всего было построено по три полных кривых выносливости, соответствующих вероятности неразрушения 0,8, для постоянного и переменного режимов нагружения. Относительные усталостные повреждения $a$ определялись по зависимости

$$a = \Sigma n_1 / N_1 + \Sigma n_2 / N_2 , \qquad (13)$$

где $\Sigma n_1$ и $\Sigma n_2$ – суммарные числа циклов нагружения при напряжениях $\sigma_1$ и $\sigma_2$ ; $N_1$ и $N_2$ – числа циклов до разрушения при напряжениях $\sigma_1$ и $\sigma_2$ .

В четвертой главе изложены исследования циклической прочности при постоянных амплитудах переменных напряжений затянутых до $\sigma_m = 0{,}75\,\sigma_т$ резьбовых соединений со специальными гайками, разработанными автором реферируемой работы с целью повышения выносливости; с болтами, имеющими увеличенную сферическую головку с квадратным подголовком и исследования влияния на выносливость антикоррозионного покрытия – цинкование с хроматированием. Всего было испытано на машине для ускоренных испытаний винтов на выносливость свыше 360 резьбовых соединений с болтами М12.8$g$ х 110.58 из стали ст.3 кп и М10.8$g$ х 140.48 из стали 10 кп по ГОСТ 1759-70. По данным усталостных испытаний построено пять полных кривых выносливости, соответствующих вероятности неразрушения 0,8, и определены длительные пределы выносливости резьбовых соединений с семью партиями специальных гаек. При испытаниях регистрировалось также место разрушения, которое располагается при усталости всегда в зонах с повышенной концентрацией напряжений и таким образом указывает на эти зоны. Для приближенного определения деформации специальной гайки с целью улучшения распределения нагрузки между сопряженными витками резьбы болта дана расчетная зависимость.

В пятой главе изложены исследования эксплуатационной нагруженности резьбовых соединений транспортных машин, в которых используется большое количество резьбовых деталей по ГОСТ 1759-70. Тензометрирование осевых нагрузок при дорожно-полевых испытаниях снаряженного согласно ТУ автофургона проведено с применением специальной тензометрической станции и датчика нагрузки. Осциллограммы осевых нагрузок обработаны по методу ординат на ПОБД-12 и полученные статистические распределения аппроксимированы нормальным законом с дисперсиями $D_i$ . За расчетную амплитуду при числе $N$ циклов нагружений в эксплуатации значительно больше базового ( $N \gg N_0 = 10^7$ ) и при нормальном законе распределения переменных нагрузок может быть принята полуразность их максимальных $P_{max}$ и минимальных $P_{min}$ значений

$$P_a = (P_{max} - P_{min})/2, \qquad (14)$$

которая может быть определена для регламентированных условий эксплуатации автофургона с некоторой доверительной вероятностью по зависимости

$$P_a = K\sqrt{D}, \qquad (15)$$

где $D$ – дисперсия композиции из составляющих её распределений с дисперсиями $D_i$ и с удельными весами $\rho_i$, определяемая по зависимости

$$D = \sum_{i=1}^{n} \rho_i D_i, \qquad (16)$$

$K$ – коэффициент доверительной вероятности, характеризующий вероятность $Q$ воздействия амплитуды большей $P_a$ и принимаемый по табл.2.

Таблица 2

| $Q$ | 0,1 | 0,05 | 0,1 | 0,001 |
|---|---|---|---|---|
| $K$ | 1,282 | 1,645 | 2,326 | 3,09 |

Дисперсии $D_i$ переменных составляющих нагрузок получены для пробега автофургона по асфальту, булыжнику, пашне, грунтовой дороге, а длительности $\rho_i$ использования его на каждом дорожном покрытии за весь срок эксплуатации регламентированы ГОСТ 6875-54, ГОСТ 6906-54.

З а к л ю ч е н и е . По данным проведенных исследований могут быть сделаны следующие основные выводы:

1. Установлено, что затянутые резьбовые соединения с болтами М10, М12, М16 по ГОСТ 1759-70 из сталей 10, 15, 20 спокойных и особенно кипящих плавок при ударных нагрузках в зонах эксплуатационных температур механизмов и машин и особенно "северного исполнения" могут разрушаться как вязко (пластично), так и хрупко. Появление хрупкого состояния резьбовых

деталей при каждой температуре в зоне переходных температур может быть связано с некоторой вероятностью $Q(t)$.

2. Распределения вероятностей $Q(t)$ в зоне переходных температур для исследованных резьбовых соединений могут быть аппроксимированы нормальным законом. Полученные в реферируемой работе для определения $Q(t)$ значения средних критических температур $t_{0,5}$ хрупкости и их средние квадратические отклонения $S_{t_x}$ составляют для исследованных резьбовых соединений с болтами М12 и М16 соответственно: $t_{0,5} = (-53 \ldots -58)^{\circ}C$, $S_{t_x} = (9 \ldots 11)^{\circ}C$ и $t_{0,5} = (-48 \ldots -52)^{\circ}C$, $S_{t_x} = (11 \ldots 13)^{\circ}C$.

3. Повышенную хладостойкость показали резьбовые соединения с болтами из спокойных марок сталей, нормализованные или улучшенные после накатки резьбы. Уменьшение наклёпа и диаметра болтов повышает их хладостойкость.

4. Установлено, что энергоемкость хрупкого разрушения ниже энергоемкости вязкого (пластичного) разрушения в (1,5 ...2) раза и имеет значительное рассеивание, которое предопределяет вероятностный подход к прочности резьбовых соединений с болтами, находящимися в хрупком состоянии.

5. Рассеивание энергоемкости хрупкого разрушения для исследованных резьбовых соединений с болтами по ГОСТ 1759-70 из сталей 10, 15, 20 спокойных и кипящих плавок может быть аппроксимировано нормальным законом. Средние значения удельной работы $\bar{a}$ хрупкого разрушения и средние квадратические отклонения $S_a$ составляют:

для М16 – $\bar{a} = (15 \ldots 20)$ кгс·м/см$^2$ и $S_a = (1{,}2 \ldots 1{,}4)$ кгс·м/см$^2$;

для М12 – $\bar{a} = (20 \ldots 25)$ кгс·м/см$^2$ и $S_a = (1{,}6 \ldots 1{,}8)$ кгс·м/см$^2$.

6. Модель надежности, содержащая вероятности $Q(t)$ перехода болтов в хрупкое состояние и вероятности $Q(A)$ разрушения резьбовых соединений с болтами, находящимися в хрупком состоянии, отражает закономерности, связанные с появлением

хрупких состояний болтов и с рассеиванием энергоемкости их разрушения.

7. Экспериментально получены для исследованных на выносливость резьбовых соединений с болтами М12 по ГОСТ 1759-70 из сталей 20, 20 кп, ст.3 кп относительные усталостные повреждения, близкие к единице - при суммировании повреждений от напряжений до ($\sim$0,6) пределов выносливости - и близкие к 0,5 - при суммировании повреждений от напряжений, только больших длительных пределов выносливости. Резьбовые соединения с болтами из спокойной стали 20 показали повышенный на 12% длительный предел выносливости при переменном режиме нагружения по сравнению с постоянным. Длительные пределы выносливости резьбовых соединений из кипящих сталей 20 кп и ст.3 кп при обоих режимах испытаний получились одинаковыми.

8. Разработаны на базе стандартных резьбовых деталей резьбовые соединения повышенной циклической прочности.

9. Экспериментально показано, что эффективный коэффициент концентрации напряжений в зоне увеличенной сферической головки болтов М10 с квадратным подголовком не превышает таковой в зоне впадины между первым опорным и неопорным витками резьбы, а цинкование с хроматированием незначительно понижает длительный предел выносливости затянутых резьбовых соединений.

10. Экспериментально установлено, что резьбовые соединения крепления кузовов-фургонов к шасси автомобилей подвержены при эксплуатации циклическим нагрузкам с переменной частотой $f$ = (0,5 ... 10) Гц и с переменной амплитудой, которая может быть определена для регламентированных условий эксплуатации с требуемой доверительной вероятностью. В этих резьбовых соединениях могут использоваться наряду с резьбовыми деталями из спокойных сталей также и более технологичные, дешевые и широко распространенные резьбовые детали из кипящих сталей, показавшие при испытаниях на выносливость в условиях нормальных (+20°С) и пониженных до (-65°С) температур характеристики сопротивления усталости не ниже таковых для резьбовых соединений с резьбовыми деталями из спокойных сталей.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

I. Куренков С.В. Исследование спектра нагрузок в резьбовых соединениях. "Известия вузов. Машиностроение", 1976, № 9.

2. Куренков С.В. Исследование выносливости болтов, свинченных со специальной гайкой. "Известия вузов. Машиностроение", 1976, № 10.

3. Решетов Д.Н., Байков Б.А., Куренков С.В., Ригмант Б.М. Исследование ударной прочности резьбовых соединений. "Вестник машиностроения", 1977, № 10.