

Гринченко А.С.  
Савченко В.Б.  
Полтавченко О.В.  
*Харьковский национальный техниче-  
ский университет сельского хозяй-  
ства имени Петра Василенко*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ  
МЕХАНИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ГРУППОВЫХ  
РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

УДК 621.825.24

Рассмотрена проблема прогнозирования надежности групповых резьбовых соединений при многократном экстремальном нагружении. Проведен сравнительный анализ надежности конструктивных вариантов фланцевых болтовых соединений.

**Ключевые слова:** групповые резьбовые соединения, прогнозирование надежности, нагружение, мобильные машины.

**Введение.** Проектирование и выбор параметров ответственных резьбовых соединений в мобильных машинах, работающих на лесозаготовках, целесообразно осуществлять на основе анализа конструктивных вариантов и прогнозирования механической надежности. При этом следует учитывать основные факторы, определяющие надежность групповых резьбовых соединений: распределение нагруженности по болтам и уровень ожидаемых экстремальных нагрузок, действующих на наиболее нагруженные болты соединения; общее количество нагружаемых болтов и возможное ослабление их начальной затяжки в эксплуатации [1, 2]. Необходимо также построить стохастическую модель прогнозирования механических отказов, которая должна учитывать как случайность многократно действующих на соединение экстремальных нагрузок, так и случайность несущей способности каждого из болтов. Решение этого комплекса вопросов может быть осуществлено с применением методов статистического моделирования [3], отличающихся своей универсальностью и отсутствием ограничений, присущих аналитическим методам.

**Целью** статьи является изложение методики моделирования и прогнозирования надежности групповых резьбовых соединений при многократном экстремальном нагружении.

**Изложение основного содержания.** В соответствии с общепринятым подходом [4], усилие от внешней растягивающей нагрузки  $P$ , действующей на соединение и приходящейся на болт сверх усилия от постоянной предварительной затяжки  $Q_3$ , можно определить по формуле

$$P_{\sigma} = \chi_p P, \quad (1)$$

где  $\chi_p$  - коэффициент основной (переменной) нагрузки.

Коэффициент  $\chi_p$  обычно определяется как соотношение, зависящее только от упругих податливостей соединяемых деталей и болта:

$$\chi_p = \frac{\lambda_d}{\lambda_d + \lambda_{\sigma}}, \quad (2)$$

где  $\lambda_d$  и  $\lambda_{\sigma}$  - постоянные коэффициенты податливости деталей и болта, соответственно, методика расчета которых приводится в [4].

Расширенная по сравнению с традиционно используемой [4] трактовка понятия коэффициента основной нагрузки использована в [2], где учтена возможность раскрытия стыка при экстремальном возрастании внешней нагрузки, действующей на соединение. При этом зависимость коэффициента основной нагрузки от коэффициента затяжки  $n_3 = Q_3/P$ , если не учитывать влияния ряда факторов, таких как твердость и шероховатость контактирующих поверхностей в стыках и резьбе, имеет вид

$$\chi(n_3) = \begin{cases} 1 - n_3, & \text{если } 0 \leq n_3 \leq 1 - \chi_p; \\ \chi_p, & \text{если } n_3 > 1 - \chi_p. \end{cases} \quad (3)$$

Учитывая, что в процессе эксплуатации соединения обычно имеет место [1] существенное ослабление усилия предварительной затяжки  $Q_3$  и тогда при экстремальном нагружении  $P = P_{\max}$  может оказаться, что  $\frac{Q_3}{P_{\max}} < 1 - \chi_p$ , то из (3) следует, что в экстремальных случаях  $P_{\sigma} = P_{\max}$  и при расчете болтов группового соединения можно считать, что все приходящееся на один болт переменное внешнее усилие  $P$  воспринимается болтом.

При рассмотрении экстремального нагружения групповых резьбовых соединений целесообразно использовать расчетную схему нагружения болтов после раскрытия стыка, когда  $\chi = 1 - n_3$ . Такая схема в случае экстремального нагружения соединения изгибающим моментом  $M_x$ , действующим в одной плоскости, приведена на рис. 1. Распределение нагруженности по болтам здесь определяется их координатами  $y_i$  и количеством болтов, расположенных на соответствующем уровне, т.е. конструктивной геометрией соединения.

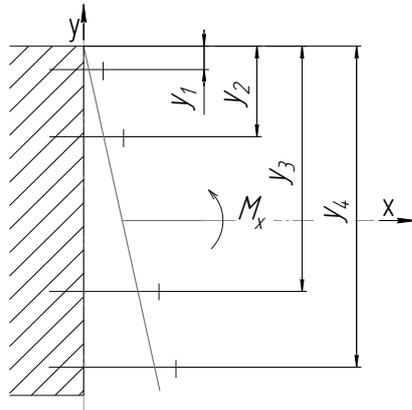
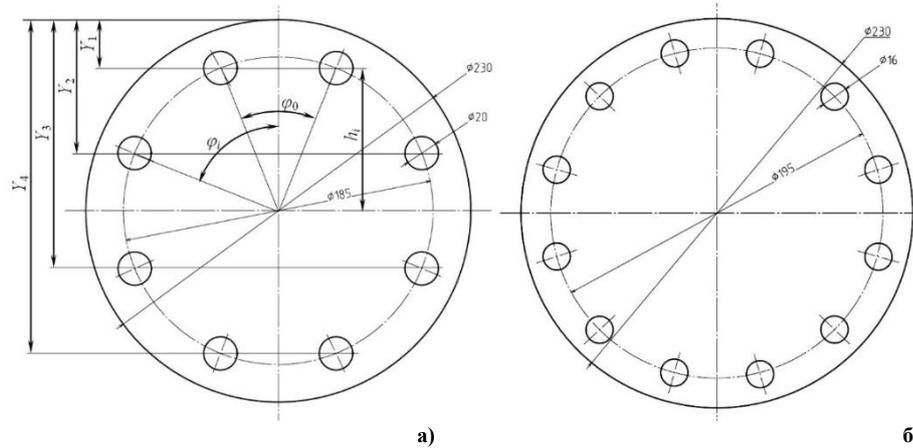


Рисунок 1 - Расчетная схема группового соединения после раскрытия стыка

Проектирование групповых резьбовых соединений обычно включает решение задачи рационального выбора характеристик используемых болтов и их количества в соединении. Эту задачу следует решать на основе прогнозирования механической надежности и сравнительного анализа возможных конструктивных вариантов. Примером такого анализа может служить сравнение двух вариантов выполнения фланцевого болтового соединения (рис. 2) балки моста с корпусом бортового редуктора колесного трактора. Первый вариант (рис. 2, а) предусматривает постановку восьми болтов М20х1,5 с центрами на окружности диаметром 185 мм, а во втором варианте (рис. 2, б) предложено

использовать двенадцать болтов М16х1,5, установленных на диаметре 195 мм. При экстремальном нагружении схема распределения деформаций и усилий в болтах соответствует рис. 1.



**Рисунок 2 - Варианты фланцевого резьбового соединения:**  
 а) с 8 болтами М20х1,5; б) с 12 болтами М16х1,5.

В смысле надежности рассматриваемое соединение можно считать системой с последовательной структурой, при которой отказ одного из болтов приводит к отказу соединения, т.к. может начаться прогрессирующее разрушение болтов с потерей несущей способности соединения. Вместе с тем необходимо учитывать неравномерность распределения нагрузки между болтами, степень которой определяется коэффициентами

$$\alpha_i = \frac{Y_i}{Y_{\max}} \leq 1. \quad (4)$$

Прогнозирование надежности двух вариантов соединения осуществлялось с использованием статистического моделирования случайной несущей способности болтов и многократно воздействующего на соединение случайного нагружающего момента. Генерирование на компьютере реализаций несущей способности и экстремальных нагрузок осуществлялось по закону Вейбулла с заданным значением коэффициента вариации 0,1. Алгоритм моделирования был аналогичен описанному в работе [3]. Результаты прогнозирования вероятности безотказной работы вариантов соединения в зависимости от числа нагружений приведены в таблице 1 и на рис. 3.

Таблица 1

**Результаты моделирования надежности фланцев**

Количество нагружений <i>m</i>	Вероятность безотказной работы <i>R(m)</i> для фланцев:		Отношение вероятностей отказа
	8xM20	12xM16	
0	1,000	1,000	-
1	0,986	0,995	3,05
3	0,974	0,992	3,15
10	0,958	0,987	3,18
50	0,937	0,979	3,09
100	0,927	0,977	3,12
200	0,919	0,973	3,05
500	0,907	0,969	2,98
1000	0,898	0,966	3,01

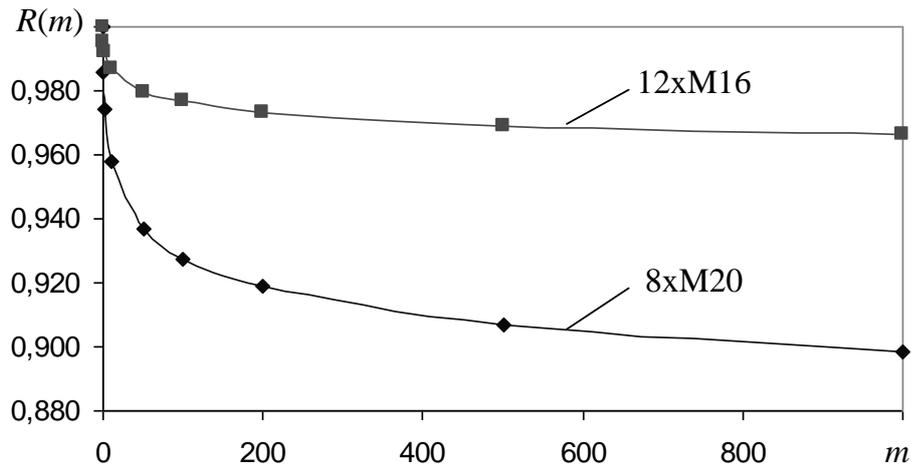


Рисунок 3 - График зависимостей вероятности безотказной работы фланцевых соединений от числа экстремальных нагружений

**Вывод.** На основе результатов статистического моделирования и прогнозирования надежности вариант группового соединения 12xM16 при многократном экстремальном нагружении по вероятности безотказной работы существенно превосходит резьбовое соединение 8xM20. Приведенный реальный пример подтвердил возможность эффективного применения методов компьютерного моделирования и прогнозирования надежности на этапе проектирования ответственных групповых резьбовых соединений.

### Литература

1. Прогнозирование ослабления затяжки резьбовых соединений/ В.Я.Анилович, А.С. Гринченко, В.Л. Литвиненко, А.М. Морозов. - Вестник машиностроения, 1979, №8, - С. 31-33.
2. Гринченко А.С., Алферов А.И. Прогнозирование и обеспечение долговечности резьбовых соединений с учетом ослабления затяжки. Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. Vol. 16, No 7. Lublin - Rzeszow 2014. p. 33-41.
3. Гринченко А.С. Статистическое моделирование и прогнозирование надежности при внезапных механических отказах/ А.С. Гринченко, В.Б. Савченко, А.П. Юрьева// Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва: Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. - Харків, 2015. - Вип. 163. - С.23-30.
4. Биргер И.А., Иосилевич Г.Б. Резьбовые и фланцевые соединения. - М.: Машиностроение, 1990. - 368 с.

A.C. Grinchenko, V.B. Savchenko, O.V. Poltavchenko **Design and prognostication of mechanical reliability of screw-thread connections group**

In the article described the problem of prognostication of screw-thread connections group reliability at the frequent extreme loading. It is conducted the comparative security analysis of structural variants of screw-bolt connections flanges.

**Keywords:** group threaded connections, reliability prediction, loading, mobile machines.

**References**

1. Prediction loosening threaded connections / V.Ya. Anilovich, AS Grinchenko, VL Litvinenko, AM Morozov. - Journal of Mechanical Engineering 1979, №8, - S. 31-33.
2. Hrinchenko AS, Alferov AI Forecasting and ensuring the durability of threaded connections considering loosening. Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. Vol. 16, No 7. Lublin - Rzeszow 2014. p. 33-41.
3. Hrinchenko AS Statistical modeling and forecasting of the reliability due to sudden mechanical failure / AS Grinchenko, VB Savchenko, AP Yuryev // Problems nadiynosti machines that zasobiv mehanizatsii silskogospodarskogo virobnitstva: News HNTUSG IM. P. Vasilenko. - Kharkiv, 2015. - Vip. 163. - S.23-30.
4. Birger IA Iosilevich GB Threaded and flanged connections. - M.: Engineering, 1990.