В остальных стержнях $P(\sigma) \approx 0$.

На 5 этапе определялась вероятность не разрушения фермы целиком.

Заданная ферма является статически определимой – она образована путем последовательного соединения элементов. В таких случаях разрушение происходит по наиболее слабому их них. Вероятность не разрушения фермы определяется по формуле:

$$1 - P_c(\sigma) = \prod_{i=1}^{n} [1 - P_i(\sigma)] = (1\text{-}0.0239)^4 \cdot (1\text{-}0.0082) \cdot (1\text{-}0.0256)^2 = 0.8548.$$

Выводы: ферма обладает такой надежностью в случае действия максимальных нагрузок, вероятность появления которых невелика, поэтому действительная надежность фермы больше. Кроме того, ферма не является в действительности статически определимой системой и появление в стержне напряжения равного пределу текучести еще не ведет к разрушению этого стержня.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции. Нормы проектирования
2. Болотин, В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений – М.: Стройиздат, 1981. – 351 с.

Волконоцкая Е.И., Хотина М.В.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ НЕРАЗРУШЕНИЯ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОЙ СИСТЕМЫ

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель канд. техн. наук Трепачко В.М.

В настоящее время является общепризнанным, что поведение реальных конструкций обусловлено взаимодействием ряда факторов случайной (стохастической) природы. Поэтому обоснованный подход к определению надежности и долговечности конструкций возможен только с позиций вероятностных методов.

В предлагаемой работе ставилась задача – определить вероятность не разрушения (надежность) статически неопределимой системы, представленной на рис. 1.

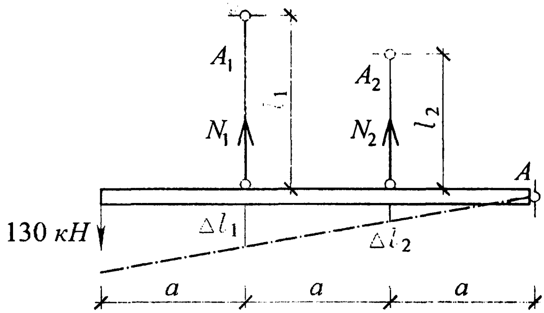

Рис. 1. Расчетная схема статически неопределимой системы

В качестве исходных данных приняты: площади поперечных сечений стержней – A_1= 6 $см^2$, A_2= 10 $см^2$; длины стержней – l_1= 1.5 *м*, l_2= 1 *м*; расстояние a=1 *м*.

Нагрузка и размеры – детерминированы, прочность всех стержней случайна, независима и распределена одинаково по нормальному закону.

Материал элементов – сталь С245: предел текучести R_y=240МПа, математическое ожидание предела текучести $\bar{R}_y = 260$ МПа; стандарт (среднеквадратическое отклонение) $\sigma(R_y)$=25МПа.

При определении надежности системы принято, что разрыв стержней происходит хрупко, а динамический эффект хрупкого разрушения не учитывается. При этом система не разрушится в трех случаях:

а) не разрушатся оба стержня (1 и 2) – вероятность этого $P_а$;

б) разрушится стержень 1, но не разрушится стержень 2 – вероятность $P_б$;

в) разрушится стержень 2, но не разрушится стержень 1 – вероятность $P_в$;

Для определения вероятности не разрушения системы выполним следующую последовательность действий:

1. Для каждого из этих случаев определяем усилия в стержнях и соответствующие напряжения.

Для случая (а) составляем одно уравнение равновесия (сумму моментов относительно опоры А, см. рис. 1):

$$\Sigma M_A = -130 \cdot 3a + N_1 \cdot 2a + N_2 \cdot a = 0 \tag{1}$$

и одно геометрическое уравнение:

$$\frac{\Delta l_1}{2a} = \frac{\Delta l_2}{a}. \tag{2}$$

По закону Гука $\Delta l_1 = \dfrac{N_1 l_1}{EA_1}$, $\Delta l_2 = \dfrac{N_2 l_2}{EA_2}$, тогда с учетом уравнения (2)

$$N_1 = \frac{N_2 l_2 \cdot 2A_1}{A_2 \cdot l_1}. \tag{3}$$

Подставляя (3) в уравнение равновесия (1), получим

$$N_2 = \frac{Nl_1 \cdot 3A_2}{4A_1 l_2 + A_2 l_1} = \frac{3 \cdot 130 \cdot 10 \cdot 1.5}{4 \cdot 6 \cdot 1 + 10 \cdot 1.5} = 150 \text{ (кН)}, \tag{4}$$

тогда

$$N_1 = \frac{150 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 6}{10 \cdot 1.5} = 120 \text{ (кН)}. \tag{5}$$

Вычислим напряжения в стержнях 1 и 2:

$$\sigma_1^a = \frac{N_1}{A_1} = \frac{120 \cdot 10^3}{6 \cdot 10^{-4}} = 200 \text{ (МПа)}, \tag{6}$$

$$\sigma_2^a = \frac{N_2}{A_2} = \frac{150 \cdot 10^3}{10^{-3}} = 150 \text{ (МПа)}. \tag{7}$$

Для случая (б) при хрупком обрыве стержня 1 ($N_1 = 0$) из уравнения (1) определяем, что усилие в оставшемся стержне $N_2 = \dfrac{N \cdot 3a}{a} = 390$ (кН) и напряжение $\sigma_2^б = \dfrac{N_2}{A_2} = \dfrac{390 \cdot 10^3}{10^{-3}} = 390$ (МПа).

Для случая (в) при хрупком обрыве стержня 2 из уравнения (1) определяем усилие в оставшемся стержне $N_1 = \dfrac{N \cdot 3a}{2a} = 195$ (кН) и

напряжение $\sigma_1^в = \dfrac{N_1}{A_1} = \dfrac{195 \cdot 10^3}{6 \cdot 10^{-4}} = 325$ (МПа).

2. Определяем вероятности не разрушения системы для каждого из случаев.

Случай (а)

$$P_a = (1 - P_1(\sigma_1^a)) \cdot (1 - P_2(\sigma_2^a)), \tag{8}$$

где $P_1(\sigma_1^a)$, $P_2(\sigma_2^a)$ – вероятности разрушения стержня 1 (т.е. предел текучести будет меньше действующего напряжения σ_1) и стержня 2 соответственно;

$(1 - P_1(\sigma_1^a))$ – вероятность не разрушения стержня 1;

$(1 - P_2(\sigma_2^a))$ – вероятность не разрушения стержня 2, при условии, что стержень 1 не разрушился.

Подставляя полученные значения и используя табличные значения [1] для функции $\Phi(z)$, входящей в интеграл вероятности Гаусса, получим

$$P_a = (1 - P_1(200)) \cdot (1 - P_2(150)) = \left(1 - \left(\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{200-260}{25}\right)\right)\right) \times$$
$$\times \left(1 - \left(\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{150-260}{25}\right)\right)\right) = \left(\frac{1}{2} + \Phi(2{,}4)\right)\left(\frac{1}{2} + \Phi(4{,}4)\right) =$$
$$= (0{,}5 + 0{,}4918)(0{,}5 + 0{,}499991) \approx 0{,}992 . \tag{9}$$

Случай (б)

$$P_б = P_1(\sigma_1^a)\cdot(1 - P_2(\sigma_2^б)) \qquad (10)$$

где $(1 - P_2(\sigma_2^б))$ – вероятность не разрушения стержня 2, при условии, что стержень 1 разрушился.

Подставляя полученные значения, получим

$$P_б = P_1(200)\cdot(1 - P_2(390)) = \left(\frac{1}{2} - \Phi(2{,}4)\right)\times$$
$$\times\left(1 - \left(\frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{390-260}{25}\right)\right)\right) =$$
$$= (0{,}5 - 0{,}4918)(0{,}5 + \Phi(5{,}2)) = 2\cdot 10^{-9}. \qquad (11)$$

Случай (в)

$$P_в = P_2(\sigma_2^a)\cdot(1 - P_1(\sigma_1^в)) \qquad (12)$$

где $(1 - P_1(\sigma_1^в))$ – вероятность не разрушения стержня 1, при условии, что стержень 2 разрушился.

Подставляя полученные значения, получим

$$P_б = P_2(150)\cdot(1 - P_2(325)) = \left(\frac{1}{2} - \Phi(4{,}4)\right)\cdot\left(\frac{1}{2} - \Phi(2{,}6)\right) = 2{,}5\cdot 10^{-8}. \quad (13)$$

3. Определяем вероятность не разрушения всей системы (события (а), (б), (в) – не совместны).

Используя полученные значения (9), (11), (13) определяем вероятность по формуле [2]

$$P = P_a + P_б + P_в = 0{,}992 + 2\cdot 10^{-9} + 25\cdot 10^{-9} \approx 0{,}992. \qquad (14)$$

Значения двух последних слагаемых очень малы, поэтому с достаточной степенью точности можно сказать, что статическая неопределимость в данной системе почти не увеличивает ее надежность.

Однако при дальнейшем увеличении степени статической неопределимости надежность системы существенно возрастет.

На рис. 2-4 показаны зависимости надежности заданной системы от внешней нагрузки (см. рис. 2), от предела текучести R_y (см. рис. 3) и от стандарта $\sigma(R_y)$ (см. рис. 4).

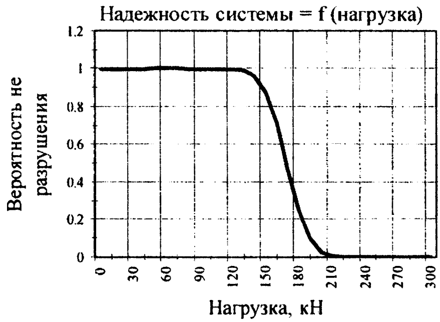

Рис. 2

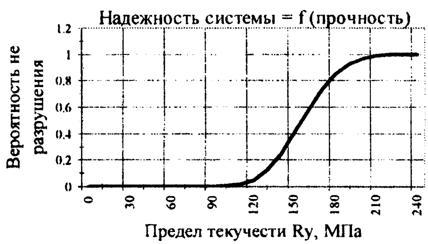

Рис. 3

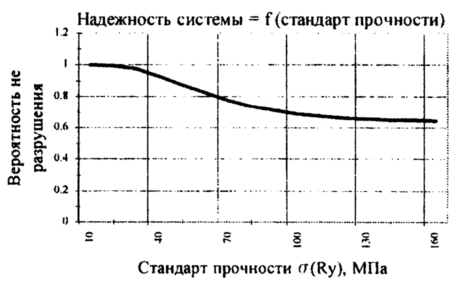

Рис. 4

Анализируя представленные графики можно сделать следующие выводы:

1. Максимальная надежность данной системы наблюдается при выравнивании напряжений в стержнях, т.е. при $l_1 / l_2 = 2$.

2. При увеличении разброса прочности $\sigma(r_y)$ увеличивается разброс воспринимаемой нагрузки (кривая зависимости надежности от нагрузки становится более пологой).

ЛИТЕРАТУРА

1. Болотин, В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений – М.: Стройиздат, 1981. – 351 с.
2. Капур, К., Ламберсон, Л. Надежность и проектирование систем. – М.: Мир, 1980. – 604 с.

УДК 614.89:006.354

Петухова Е.В., Махонь А.С.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ФУНКЦИЙ РАБОЧЕЙ ОБУВИ

*Витебский государственный технический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь*

Научный руководитель ст. преподаватель Матвеев К.С.

Работа посвящена проблеме повышения эффективности применения рабочей обуви, обладающей проколостойкими функциями, на машиностроительных предприятиях. Предлагается упрощение конструкции обуви, без снижения ее защитных функций.

Последние три десятилетия прошлого столетия ознаменовались бурным развитием европейского рынка рабочей обуви. Никогда прежде эта область не отличалась таким количеством технологических находок и столь стремительной сменой приоритетов. Если в 70-е годы главным усовершенствованием в рабочей обуви считались металлический подносок и антиперфорационная металлическая стелька,