

ИНЖЕНЕРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Н. СТРЕЛЕЦКИЙ, член-корреспондент Академии Наук СССР

**КОЭФФИЦИЕНТ БЕЗОПАСНОСТИ КАК ФАКТОР РАВНОПРОЧНОСТИ
СООРУЖЕНИЙ**

Коэффициент безопасности—отношение разрушающей нагрузки к допускаемой—является основным коэффициентом всего расчета сооружений. В обычном понимании коэффициент безопасности рассматривается как коэффициент равнопрочности сооружений. Если разрушающие нагрузки двух каких-либо сооружений разнятся друг от друга, например от того, что материал в одном сооружении (I) принят более прочный, чем в другом (II) (например, в одном взята повышенная сталь, а в другом сталь 3), то при всех прочих равных условиях обычно принимается, что допускаемая нагрузка сооружения I при сохранении равнопрочности с II может быть поднята по сравнению с II настолько, насколько разрушающая нагрузка I больше II, т. е.

$$\frac{P_I^{\text{дон}}}{P_{II}^{\text{дон}}} = \frac{P_I^{\text{нр}}}{P_{II}^{\text{нр}}}$$

$$\frac{P_I^{\text{нр}}}{P_I^{\text{дон}}} = \frac{P_{II}^{\text{нр}}}{P_{II}^{\text{дон}}} = k,$$

где k —коэффициент безопасности. •

Такой подход принят в вопросе назначения нагрузок во всех отраслях инженерного дела во всех странах. Между тем небольшой анализ показывает, что этот подход не отвечает действительности.

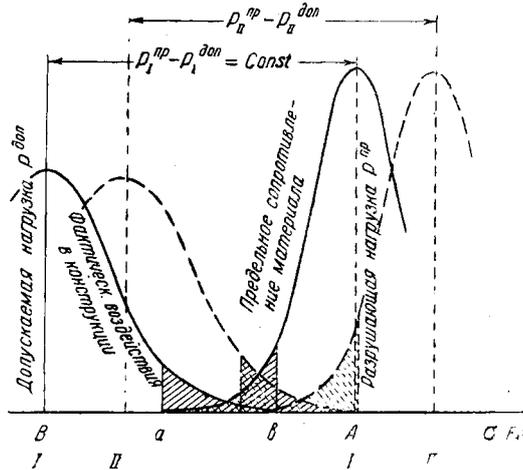
Основой получающегося недоразумения является недостаточно четкое представление о понятии равнопрочности.

Сооружения теряют свою прочность, разрушаются от комплекса самых разнообразных причин, которые все случайны,—от случайной недостаточной качественности материала, от случайных дефектов сооружения, от случайных превышений нагрузки над обычной и т. д. При допускаемой обычной нагрузке и качественных конструкции и материале сооружения не могут разрушиться, поскольку развивающиеся тогда напряжения всегда меньше разрушающих.

Таким образом прочность зависит от случайностей разрушения, а равная прочность от равных случайностей или, правильнее, от равных вероятностей.

тий разрушения или аварии. Те сооружения равнопрочны, которые имеют равные вероятности аварии (разрушения).

Очевидно, авария возможна тогда, когда фактические воздействия (усилия) в сооружении будут больше предельных возможных сопротивлений для материала сооружения. Последние, завися от некачественности материала, случайны и характеризуются случайным значением предельного сопротивления (напряжения) материала; в качестве такового в стальных конструкциях принимается предел текучести, в бетонных может быть взята кубиковая прочность, в чугунных временное сопротивление и т. д.



Зная это напряжение, можем определить разрушающую предельную нагрузку как произведение напряжения на некоторый геометрический фактор (площадь, момент сопротивления разрушаемого элемента сооружения) и на коэффициент, зависящий от условий определения предельного сопротивления (например от условий кубиковой пробы бетона), деленное на число влияния внешнего воздействия для места разрушения:

$$P^{np} = \frac{\sigma^{np} F c}{\alpha},$$

где F обозначен геометрический фактор, c —коэффициент перехода от опытных данных испытания материала к обстоятельствам фактической работы, α —число влияния. Все эти величины для данного сооружения постоянны (F , α) или могут быть приняты за таковые (c).

Учет переменности (случайности) значений P^{np} легко может быть произведен по данным приемных испытаний материала построением соответствующей кривой распределения вероятности. Она может быть получена в виде кривой распределения вероятности Гаусса, Пирсона и т. д.

Фактические воздействия столь же случайны и также могут быть получены в виде кривой распределения вероятности. Вероятие аварии зависит от вероятия того, что фактические воздействия окажутся больше предельных сопротивлений материала, и от вероятия того, что предельные сопротивления материала окажутся меньше фактических воздействий в конструкции. Так как эти вероятия совершенно независимы, то вероятие аварии равняется произведению из них.

Каждое из этих вероятий равняется площади соответствующей кривой распределения, расположенной в пределах, имеющих общие абсциссы, деленной на площадь всей кривой распределения (см. фиг.). Так, если область общих абсцисс распространяется от a до b , то вероятие, что фактические воздействия больше предельных сопротивлений, равняется

$$W_1 = \frac{[\Omega_1]_a^b}{\Omega_1},$$

вероятие, что предельные сопротивления меньше фактических воздействий

$$W_2 = \frac{[\Omega_2]_a^b}{\Omega_2},$$

а вероятие аварии

$$W = W_1 W_2.$$

Если взять кривые Гаусса и считать, что точки b и a суть такие, для которых, с требуемой мерой точности, y_b первой кривой и y_a второй кривой могут быть приняты за нуль:

$$W_1 = \frac{1}{m_1 \sqrt{2\pi}} \int_{b-A}^{a-A} e^{-\frac{x^2}{2m_1^2}} dx,$$

$$W_2 = \frac{1}{m_2 \sqrt{2\pi}} \int_{B-a}^{B-b} e^{-\frac{x^2}{2m_2^2}} dx,$$

где m_1 и m_2 —стандарты соответствующих кривых, а A и B —абсциссы центров кривых.

Если вследствие изменившихся обстоятельств (хотя бы учета статической неопределенности или чего-либо другого) разрушающая нагрузка может быть увеличена, но все прочие характеристики качества материала останутся без изменения, то центр кривой предельных сопротивлений переместится вправо, сама же кривая не потерпит изменений.

Вследствие повышения разрушающей нагрузки может быть повышена и практическая (допускаемая) нагрузка. Если состояние сооружения и режим эксплуатации остались без изменений, то кривая фактических воздействий также не потерпит изменений, а только переместится вправо. При сохранении равенства вероятия аварии, отвечающего равнопрочности, площади $[\Omega_1]_a^b$ и $[\Omega_2]_a^b$ должны остаться без изменения, что приводит к перемещению обеих кривых как одного целого на одну и ту же величину. Отсюда следует, что разрушающая нагрузка, отвечающая центру кривой предельных сопротивлений, и допускаемая нагрузка, отвечающая центру кривой фактических воздействий, переместятся на одну и ту же величину и состояние равнопрочности характеризуется постоянством разности между разрушающей и допускаемой нагрузками, а не постоянством их отношения (коэффициентом безопасности). Этот вывод резко изменяет все наши возможности повышения допускаемых нагрузок при повышении разрушающих.

Таким образом коэффициент безопасности никоим образом не является коэффициентом равнопрочности; он относится только к данным разрушающей и допускаемой нагрузкам и не может быть экстраполирован на другие.

Поступило
16 I 1937.