УДК 539.3/8 (075)

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В РАЗВИТИИ МЕТОДОВ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ

Суйеуова Н.Б., Есболай Г.И.

Мақалада құрылыс конструкцияларын шектік күйі бойынша есептеудің заманауи әдістері және ықтималды- статистикалық әдістің негізгі идеялары қарастырылған.

This article considered the up-to-date method of analysis in building structure on the marginal state and the main idea of probabilistic statistical method.

Методы расчета инженерных сооружений непрерывно развиваются, углубляясь и совершенствуясь. В последние годы интенсивно разрабатываются методы расчета по предельным состояниям и предельному равновесия (устойчивости), методы расчета конструкций с учетом пластических деформаций и вопросы применения вычислительных машин при расчетах сооружений.

Особого внимания заслуживает принципиально современный метод расчета строительных конструкций по предельным состояниям [1]. Метод расчета строительных конструкций по предельным состояниям имеет своей целью не допустить наступления ни одного из предельных состояний, которые могут возникнуть в конструкции (здании) при их эксплуатации в течение всего срока службы, а также при их возведении.

Основная идея этого метода состоит в следующем. Величины, входящие в уравнения прочности, жесткости и устойчивости, как-то: нагрузки, механические характеристики свойств материала, геометрические характеристики сечений - рассматриваются не как величины постоянные, строго определенные, а как случайные величины (статистические совокупности), обладающие известной, иногда довольно значительной изменчивостью (рассеянием). Изучение таких величин возможно лишь на основе методов теории вероятностей.

Степень рассеяния той или иной величины характеризуется соответствующей кривой распределения предела текучести. На рис. 1 приведена кривая распределения предела текучести малоуглеродистой стали. Кривые распределения могут быть симметричными и несимметричными. Даже такие, казалось бы, постоянные геометрические характеристики, как площадь сечения, момент сопротивления, момент инерции и просто линейные размеры элемента конструкций, в действительности являются величинами статистически переменными вследствие неизбежных погрешностей изготовления и измерения.

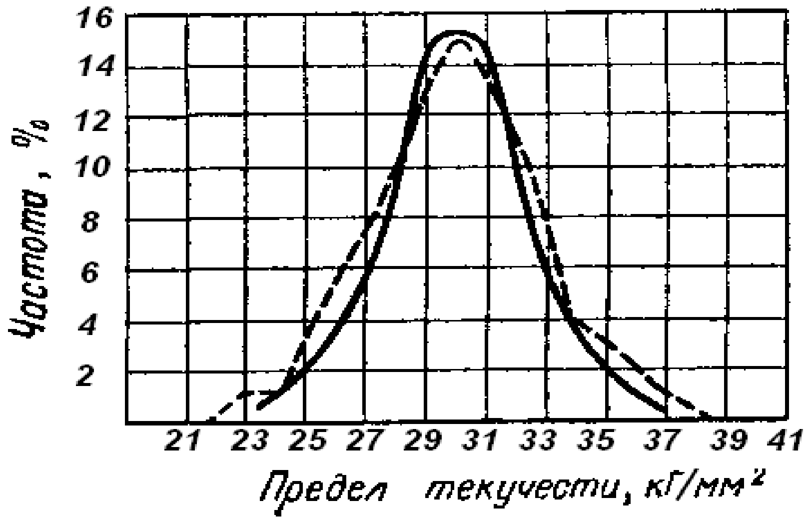

Рис.1. Кривая распределения предела текучести стали

Кривые распределения могут строиться по опытным данным или в некоторых случаях чисто умозрительно по теоретическим законам, отвечающим существенным признакам данной статистической совокупности. Имеются признаки, по которым можно установить, что теоретическая кривая достаточно хорошо отвечает эмпирической [2].

Наиболее распространенной теоретической кривой, описывающей симметричное распределение, является кривая Гаусса, называемая также нормальной кривой (рис.1).

Для несимметричных законов распределения также возможно применение кривой Гаусса путем того или иного ее «исправления».

Сохранение закона Гаусса для описания несимметричных явлений желательно потому, что математические операции с этим законом наиболее просты, хорошо изучены и табулированы.

Имея кривые распределения исходных величин, можно по правилам теории вероятностей построить кривые распределения функций.

Например, имея кривую распределения для нагрузки и для площади сечения, можно построить кривую распределения нормального напряжения при центральном растяжении.

Если кривые распределения P и F имеют нормальный вид, то и кривая распределения $б$ также будет нормальной. Затем записывается условие прочности в напряжениях: $б < б_{пр},$ (1)

где $б$ - расчетное напряжение; $б_{пр}$ - предельное напряжение (для пластичных материалов предел текучести).

При учете пластических деформаций напряжения заменяются усилиями: $N < R.$ (2)

где N— расчетное усилие; R — предельное сопротивление конструкции, соответствующее моменту потери несущей способности.

Вопрос о степени уменьшения расчетного напряжения по отношению к предельному решается в существующей методике допускаемых напряжений введением коэффициента запаса прочности $k.$

В статистическом методе признается, что уменьшение величин, стоящих в правой части (1) или (2), в k раз не дает стопроцентной гарантии неразрушимости детали, так как кривые распределения не пересекают горизонтальной оси. Поэтому даже при значительной величине коэффициента запаса всегда остается какая-то вероятность разрушения детали.

Задача состоит в том, чтобы уметь определять эту вероятность разрушения и в зависимости от назначения детали принимать ту или иную ее величину в качестве допускаемой. Для этого необходимо построить кривую распределения функции прочности $D = R - N$ (или $б_{пр} - б$) (рис. 2). При нормальном виде функций распределения $б_{пр}$ и $б$ кривая D также будет нормальной.

По вертикальной оси отложены значения плотности вероятности распределения функции $D,$ по горизонтальной оси — значения самой функции $D.$ Площадь всей кривой равна единице. Положительные значения функции D соответствуют безопасным случаям нагружения, отрицательные значения соответствуют случаям разрушения детали или появлению недопустимых деформаций.

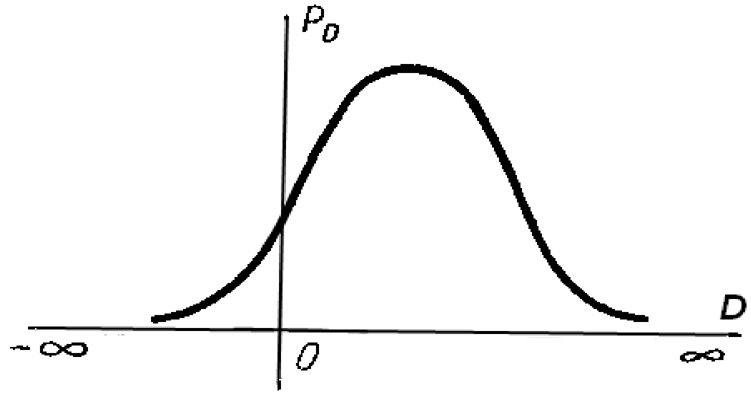

Рис.2. Кривая распределения функции прочности.

Вероятность V разрушения детали будет характеризоваться площадью кривой распределения функции: $V = \int_{-\infty}^{0} p_D dD$ (3)

Вместо вероятности разрушения V можно оперировать с вероятностью неразрушения W (надежностью), равной площади положительной части кривой распределения функции прочности: $W = \int_{0}^{\infty} p_D dD = 1 - V$. (4)

Для вычисления интеграла (4) имеются таблицы. Вычисленная вероятность разрушения конструкции не должна превосходить некоторой малой величины, которую можно назвать допускаемой вероятностью разрушения конструкции.

Величина допускаемой вероятности разрушения детали должна приниматься в зависимости от характера последствий, вызываемых разрушением детали.

Если разрушение детали может повлечь за собой человеческие жертвы, то вероятность разрушения должна приниматься весьма малой, практически равной нулю.

Исследования проф. Н. С. Стрелецкого показали, [3] что для выполненных строительных конструкций вероятность разрушения колеблется в пределах $1 \bullet 10^{-5} \div 1 \bullet 10^{-7}$, т. е. в среднем из одного миллиона сооружений может в любое время разрушиться одно.

В одном из проектов норм расчета сооружений для особо ответственных зданий и сооружений, если их выход из строя означает катастрофу, рекомендовалось принимать допускаемую вероятность разрушения $3 \bullet 10^{-6}$, т. е. допускалась возможность разрушения трех сооружений из миллиона [3].

Если разрушение конструкции не влечет за собой человеческих жертв, а вызывает только необходимость ремонта или замены этой детали, то допускаемая вероятность разрушения детали может быть определена из чисто экономических соображений, а именно из условия минимума суммарной стоимости детали (стоимости изготовления и стоимости ремонта).

Практическому применению статистического метода должна предшествовать обширная исследовательская работа по изучению кривых распределения нагрузок, характеристик прочности материала и других величин, влияющих на прочность и надежность конструкции.

Таким образом, метод расчета конструкций по предельным состояниям является дальнейшим развитием метода расчета по разрушающим усилиям. При расчете по этому методу четко устанавливаются предельные состояния конструкций и вводится система расчетных коэффициентов, гарантирующих конструкцию от наступления этих состояний при самых неблагоприятных сочетаниях нагрузок и при наименьших значениях прочностных характеристик материалов.

Литература:

1 Боровских А.В. Расчеты строительных конструкции по предельным состояниям и предельному равновесия. -М., Изд-во АСВ, 2004.
2 Глухов Л.В. и др. Динамика, прочность и надежность элементов инженерных сооружений. -М., Изд-во АСВ, 2003.
3 Райдзер В.Д. Теория надежности сооружений.-М., Изд-во АСВ, 2008.