

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Костин Игорь Владимирович

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ В РАСЧЕТАХ ПОРТОВЫХ ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

кандидат технических наук, доцент

Московская государственная академия водного транспорта, г. Москва

#### USING THE RELIABILITY THEORY IN CALCULATIONS OF PORT'S WATERFRONT STRUCTURES

Kostin Igor

Candidate of Technical Science, professor of  
Moscow state academy of water transport, Moscow

#### АННОТАЦИЯ

Рассмотрено развитие методов расчета причальных сооружений. Приведены недостатки расчета современных причалов методом предельных состояний. Рассмотрены особенности теории надежности и ее применение для расчетов портовых причальных сооружений.

#### ABSTRACT

Considers the development of computational methods for waterfront structures. The disadvantages of the calculation of modern berths by the method of limit states. The features of the reliability theory and its application to calculations of the port's waterfront structures.

Ключевые слова: надежность; расчет; сооружение; причал; порт

Keywords: reliability; calculation; construction; berth; port

Развитие методов расчета портовых причальных сооружений всегда происходило под влиянием двух критериев, первый из которых – экономичность инженерных решений, а второй – безопасность людей, находящихся на площади поражения при отказе строительных элементов и систем.

В истории развития методов расчета строительных элементов А. С. Лычевым [1] выделено три периода:

- первый период (до 1943 г.) характеризуется формированием единого метода расчета строительных конструкций – метода расчета по допускаемым напряжениям;
- второй период (до 1955 г.) известен тем, что на смену методу расчета по допускаемым напряжениям пришел метод расчета по разрушающим усилиям;
- третий период (по настоящее время) характерен использованием метода расчета по предельным состояниям.

В первом периоде развития методов расчета были приняты очень осторожные предположения. В частности, для железобетонных конструкций считалось, что бетон работает в упругой стадии; допускаемые напряжения для бетона на осевое сжатие принимались равными  $0,4R_{28}$  (где  $R_{28}$  – прочность бетона в возрасте 28 суток при нормальном твердении), для смятия при изгибе –  $0,45R_{28}$ , для арматуры из ст.3 –  $1250 \text{ кг/см}^2$  и из ст.5 –  $1600 \text{ кг/см}^2$ ; модуль упругости бетона принимался постоянным и равным  $E = 140000 \text{ кг/см}^2$ ; при армировании колонн более 2% площадь сжатой арматуры принималась равной 1/3 от полной площади.

Предположение об упругой работе материалов в сечении элемента приводило к занижению его теоретической несущей способности, что обнаруживалось в соответствующих испытаниях.

Второй период развития методов расчета строительных конструкций характеризуется более обоснованными предположениями и учетом неупругой работы материала конструкции. Вместо допускаемых напряжений в материалах стали использоваться средние значения. Неразрушимость конструкции обеспечивалась общим коэффициентом запаса прочности сечения элемента. Это позволило переименовать существующий метод расчета по допускаемым напряжениям на метод расчета строительных конструкций по разрушающим усилиям.

Введенные новшества существенно сблизили результаты расчетов и испытаний конструкций. В частности, появилось объяснение высокой прочности мало армированного железобетонного элемента при незначительной прочности бетона. Появилась возможность с помощью общего коэффициента запаса прочности регулировать расход материалов в сечении и учитывать особенности эксплуатации конструкций. Так, при значительной доле временных нагрузок, которые являются менее стабильными в сравнении с постоянными, коэффициент запаса принимался большим по сравнению с постоянными нагрузками.

Однако, несмотря на значительный прогресс в развитии методов расчета строительных конструкций, выяснились новые возможности их совершенствования. Так по мере накопления опытных данных стало ясно, что нагрузки и сопротивления материалов обладают изменчивостью, а это уменьшало гарантии неразрушимости конструкции. Выяснилось также, что одинаковые конструкции должны иметь разные коэффициенты запаса при эксплуатации в различных условиях. Кроме того, логика ответственности за проектируемые и строящиеся сооружения привела к тому, что различные по назначению здания и сооружения, име-

ющие различную социально экономическую значимость, также должны иметь неодинаковые коэффициенты запаса.

В процессе совершенствования методов расчета были изменены критерии, оценивающие прочность и другие свойства конструкции. Было принято, что состояние конструкции, при котором она не может удовлетворять требованиям эксплуатации, носит название предельного состояния. При этом прочность конструкции стала уже частным свойством, и могла появиться такая ситуация, когда достаточно прочное сооружение не могло далее эксплуатироваться из-за достижения других предельных состояний (например, по причине больших прогибов или чрезмерной ширины раскрытия трещин).

В этой связи, учитывая все новшества и возможные перспективы совершенствования, появился новый метод, который был назван методом расчета строительных конструкций по предельным состояниям, который используется инженерами-строителями до настоящего времени. Метод предельных состояний представляет все расчетные параметры детерминированными и нормативными значениями, а влияние их изменчивости учитывает частными коэффициентами, значения которых постоянно уточняются.

В последние десятилетия в расчеты строительных конструкций все более активно стали внедряться вероятностные методы, в которых мера безопасности рассматривается с вероятностных позиций. В некоторых расчетных случаях появилась возможность в явном виде учесть фактор времени, что позволило перейти к методам **теории надежности**. В вероятностных методах расчета и в расчетах на надежность используется в качестве математического аппарата теория вероятностей и математическая статистика, а прочность и устойчивость конструкций определяется вероятностью безотказной работы. Теория надежности по существу позволяет объективно количественно оценить возможные состояния прочности и устойчивости причального сооружения в пределах вероятных отклонений от математического ожидания рассматриваемого явления.

Во-первых, входящие в функции прочности и устойчивости аргументы в большинстве своем имеют статистическую природу, учет этой изменчивости в расчетах показывает возможные диапазоны и величины прочности сооружения.

Во-вторых, одним из способов проектирования сооружений с минимальной массой является повышение расчетных сопротивлений материалов. Поэтому коэффициент запаса для оценки пригодности какого-либо элемента конструкции к эксплуатации является неудобным критерием, поскольку в пределе он стремится к единице. Так возникла необходимость создания другого более универсального критерия, которым

послужило понятие надежности или вероятности отказа.

В-третьих, методы теории надежности вводят в явном виде фактор времени, что значительно повышает информативность расчетных методов.

В условиях быстрого развития флота и перегрузочной техники быстро происходит физическое и моральное старение портовых причальных сооружений. Сделать сооружение таким, чтобы оно в наименьшей степени теряло свои эксплуатационные качества во времени – это основная задача теории надежности.

К сожалению, исследований, посвященных изучению надежности строительных конструкций, проведено еще недостаточно. Одной из причин этого является чрезвычайно большая емкость понятия надежности, включающая в себя вопросы прочности (строительных материалов и изделий, грунтовых оснований и насыпок), устойчивости, долговечности, деформативности и т. д. Каждый из этих вопросов распадается на множество других. Не менее важной причиной является также то обстоятельство, что портовые причальные сооружения в ряде случаев представляют собой уникальные конструкции в связи с геологическими и другими отличиями площадок строительства, по которым имеется очень ограниченная статистическая информация.

В отечественной науке Н. С. Стрелецкий является основоположником статистической концепции расчета сооружений. Его работы стали методической основой расчета сооружений по предельным состояниям с использованием статистических методов. Им впервые была дана оценка вероятности разрушения [2]:

$$P(-) > \omega_1 \omega_2.$$

Здесь (рисунок 1)

$$\omega_1 = \int_{S_0}^{\infty} P(S) dS, \quad \omega_2 = \int_0^{R_0} P(R) dS$$

Вероятность  $\Gamma = 1 - \omega_1 \omega_2$  названа **гарантией неразрушимости**.

Вводя понятие функции неразрушимости  $\psi = R - S$ , приняв нормальный закон распределения случайных аргументов функций  $R$  и  $S$  и условие приближенной линейности этих функций, а также отсутствие корреляции между нагрузкой и несущей способностью, получим **характеристику безопасности конструкции**.

$$P = 1 - \Phi \left( \frac{S - R}{\sqrt{D_S + D_R}} \right),$$

где  $D_S$  – дисперсия нагрузки,  
 $D_R$  – дисперсия прочности.

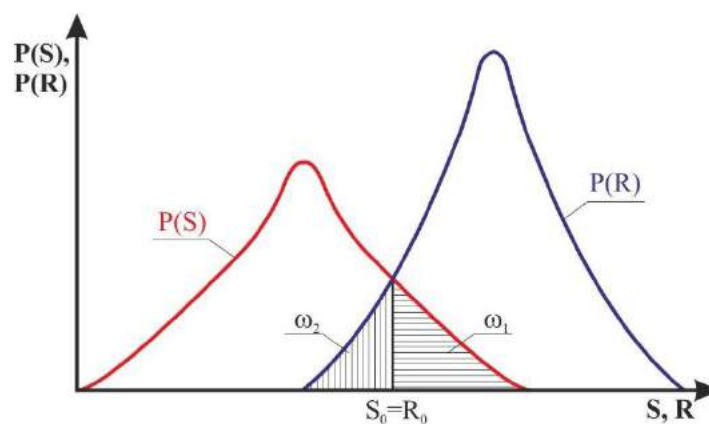


Рисунок 1. Определение вероятности разрушения  $P(-)$  по Н. С. Стрелецкому  
 $P(S)$ ,  $P(R)$  – кривые распределения нагрузки  $S$  и прочности  $R$ ;  $S_0$ ,  $R_0$  – значения нагрузки и прочности в точке пересечения кривых  $P(S)$  и  $P(R)$

В настоящее время экспериментальные методы позволяют получить необходимую исходную информацию о состоянии конструкции причального сооружения, по которой определяется степень ее работоспособности и пригодности для эксплуатационных целей. Однако, этот подход не позволяет решить главный вопрос – каков уровень эксплуатационной надежности и остаточный ресурс причального сооружения или его отдельных несущих элементов. Для этого необходимо разработать соответствующие расчетные методы.

На основании рассмотренных выше методов можно сделать ряд следующих выводов.

Расчет сооружений методом предельных состояний не позволяет сделать оценку эксплуатационной надежности конструкции во времени. В этом методе система коэффициентов является строго регламентированной для данного типа и класса сооружения и не отражает изменяющиеся во времени экономическую ответственность портового причального сооружения и его физическое состояние. Значения коэффициентов относятся к сооружению с проектными параметрами. Поэтому использование метода предельных состояний целесообразно только лишь для стадии поверочных расчетов проектного и фактического вариантов и при разработке проекта усиления или реконструкции существующего сооружения.

Для анализа состояния сооружения и его эксплуатационной надежности необходимо использовать методы теории надежности, позволяющие производить расчет сооружения на моменты времени  $T_i$  по фактическим прочностным характеристикам несущих элементов и нагрузкам и воздействиям, установленным на причале на момент проведения технического контроля сооружения. Основным преимуществом методов теории надежности является использование в расчетах статистических параметров, полученных непосредственно на сооружении или на заводах – изготовителях. В этих расчетах используются уравнения связи  $\psi = R - S$ , где  $R$  и  $S$  являются случайными функциями.

#### Список литературы

1. Лычев А. С. Вероятностные методы расчета строительных элементов и систем. М.: «Ассоциация строительных высших учебных заведений», 1995. -142 с.
2. Стрелецкий Н. С. Основы статистического учета коэффициента запаса прочности сооружений. М.: Стройиздат, 1977.

**Мирюк Ольга Александровна**

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ПЕНОБЕТОНОВ

доктор технических наук, профессор  
 Рудненский индустриальный институт, г.Рудный

FEATURES OF FORMATION OF STRUCTURE MAGNESIAN FOAM CONCRETES

Miryuk Olga

Doctor of technical sciences. Professor,  
 Rudny Industrial Institute, Rudny

АННОТАЦИЯ

Исследовано влияние способа приготовления на свойства магниевых композиций. Обоснована целесообразность раздельного приготовления формовочных масс из магниевых композиций. Показана возможность дополнительной поризации пеномассы за счет газообразующей добавки и пустотелых гранул.