

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Ыктымалдуу моделдин негизинде курулуш конструкциялардын ишеничтүүлүк теориясынын өнүгүү концепциясы айтылган.

Изложена концепция развития теории надежности строительных конструкций на основе вероятностной модели.

The concept of development of reliability theory constructions based on a probabilistic model.

Теория надежности, прочно вошедшая в практику исследователей, конструкторов, технологов предприятий и лабораторий, непосредственно влияет на облик современных технических объектов и сложных систем. Методы и модели теории надежности применяются на всех стадиях жизненного цикла сложных систем, начиная от проектирования и заканчивая применением по назначению.

Последние 50 лет явились периодом интенсивного развития и становления теоретических основ надежности, вызванные к жизни количественным и качественным ростом разнообразнейших образцов сложной техники.

Растущая информатизация и автоматизация процессов управления сложными техническими системами, наряду с повышением эффективности их использования, приводит к увеличению сложности систем, а это, в свою очередь, обостряет проблему надежности и безопасности.

Во второй половине XX века библиотека научных исследований, посвященных решению теоретических и прикладных задач надежности систем, увеличивались невиданными для технических наук темпами. Существенный вклад в развитие теории надежности и использование ее моделей на практике внесли советские ученые Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко, А.М. Половко, А.Я. Маслов, А.Д. Соловьев, Р.С. Судаков, А.М. Широков, И.А. Рябинин, П. С. Краснощепов и другие.

Ведущая роль принадлежала Московской школе надежности, возглавляемой Б.В. Гнеденко, Н.Г. Бруевичем, В.В. Болотиним.

Теория надежности базируется как на закономерностях, связанных с физико-механическими процессами, осуществляемыми в материалах и конструктивных элементах сооружений, так и на математических моделях теории вероятности и математической статистики. Надежностью, следуя /15/, будем считать науку о закономерностях возникновения отказов технических систем, а также способах их предупреждения и обеспечения безопасной работы.

Центральное место в проблеме изучения и оценки надежности занимает понятие отказа. Отказом /7/ называется событие, которое состоит в нарушении работоспособности системы. Иными словами отказ - это частичная или полная утрата качества системы. Понятие отказа весьма близко по смыслу к понятию предельного состояния в теории расчета сооружений. Однако в теории надежности под предельным понимается такое состояние системы, которое соответствует технической невозможности или нецелесообразности его дальнейшей эксплуатации.

Известно /18/, что каждый исследуемый объект обладает определенными свойствами, обуславливающими его качество. Качество - это свойство или совокупность свойств объекта, обуславливающих его пригодность для использования по назначению /18/. Каждое из свойств объекта может быть описано количественно с помощью некоторой переменной, значение которой характеризует меру его качества относительно

этого свойства. Эту меру называют показателем свойства или единичным, частным показателем качества объекта.

Существует два принципиально различных подхода к определению показателя надежности - прямой и косвенный /14/. Зависимость, положенная в основу измерения показателя качества (надежность является свойством технического объекта, составляющим вместе с другими свойствами качество), называется уравнением измерения /17/.

Прямое измерение /17/ показателя надежности в форме вероятности безотказной работы определяется уравнением вид

$$P^*(t \geq t_3) = 1 - cm(t_3)$$

(1)

Здесь $P^*(t \geq t_3)$ – статистическая оценка вероятности того, что случайное время t безотказной работы окажется больше заданного (директивного) времени работы t_3 ; m – отсчитываемая в эксперименте величина, характеризующая измеряемое качество, т.е. число объектов, оказавшихся за время t_3 , $c = 1/N$ единичное значение измеряемой величины P^* (N – число испытываемых объектов). Итак, прямое измерение показателя надежности (не только в форме вероятности безотказной работы) является ни чем иным как статистической оценкой вероятности безотказной работы по частоте появления события, называемого отказом.

Косвенными считаются измерения, уравнения которых представляют измеряемую величину $P^*(t \geq t_3)$ в виде явной функции нескольких аргументов /5/

$$P^*(t \geq t_3) = f(x, u, \dots, y; a, b, t, \dots),$$

(2)

где $x, u, \dots, y$ – измеряемые переменные (аргументы), $a, b, t, \dots$ – параметры.

В исследовательской работе и инженерной практике наибольшее распространение получили методы математического моделирования. Под математическим моделированием /10/ подразумевается аналитическое описание физических объектов (процессов, явлений) и исследование их поведения математическими средствами. Поскольку критерием истинности теории, как известно, является практика, то получение исходных данных для математического моделирования и проверки результатов пригодности моделей опирается на данные натурных испытаний или физических моделей. Модели можно рассматривать как некоторый математический объект, поставленный в соответствие реальному физическому объекту, исследование которого математическими методами позволяет получить необходимые рекомендации относительно рассматриваемого объекта. Поэтому математическое моделирование по праву считается наиболее эффективным способом достижения цели исследования физического объекта. Указанный подход открывает путь к применению современных математических методов к исследованию физической реальности.

Математические модели обеспечивают соединение математического аппарата с реальными физическими объектами, оказывая существенное влияние на их совершенствование и создание объектов с ранее неизвестными свойствами. Существенным здесь считается адекватность модели рассматриваемому объекту. Как правило, построение математической модели начинается с формулирования семантической постановки задачи исследования. Иными словами, создается смысловая модель, информация для которой представляем в виде графических объектов - схем, графиков, алгоритмов и т.п. Описание моделей в форме высказываний (предикаты) обеспечивает построение логической функции, аргументами которой является переменные в неопределенной форме, заданные в некотором множестве их значений.

Математическая модель «плохо организованной системы», которую представляет любой технический объект, может дать лишь приближенное представление о поведении системы. Одни и те же качества исследуемой системы можно описать различными моделями, имеющими право на существование /16/.

Технические объекты, относящиеся, как уже упоминалось к «плохо организованным системам», подвержены влиянию не только множеству случайных, но и не изученных факторов. Математические модели, отражающие зависимости показателей качества технических объектов от входных переменных, должны быть адекватны, в принятом смысле, существующей реальности с ее сложностью и непредсказуемостью. Потому модели кибернетического (идентификационного) типа не чувствительны к изменчивости параметров объектов. Теперь становится понятной разница в подходе, который применяется в общей теории надежности /6, 9, 19/ и в теории надежности конструкций. Так, к числу основных понятий общей теории относится понятие элемента системы. Элементу соответствует некоторая деталь, узел, блок реальной конструкции, работающие в относительно стабильных условиях и взаимодействующие (в смысле надежности) с другими элементами некоторым достаточно простым способом. Благодаря этому удастся составить относительно простую математическую модель надежности каждого элемента.

Формы силовых (несущих) конструкций и способы их взаимодействия с окружающей средой весьма разнообразны. Как правило, конструкцию не удастся расчленить на элементы, взаимодействующие между собой простым способом. Более того, конструкции представляют собой распределенные системы, а параметры, описывающие их состояние, - функции координат и времени. Наконец, массовые испытания крупных силовых конструкций или даже их блоков на надежность трудоёмки, а, чаще всего, неосуществимы. Поэтому развитие теории надежности механических систем идет по пути, несколько отличному от развития общей теории надежности. Указанный путь состоит в учете взаимодействия конструкции с окружающей средой, расчетах её стохастического поведения и в получении вероятностных выводов, основанных на анализе этого поведения /7, 8, 21/.

Обычный детерминистический подход к расчету конструкций по существу можно разделить на два этапа. На первом этапе определяются напряжения, перемещения и деформации от действия внешних нагрузок или вычисляются некоторые предельные значения этих нагрузок. Решение такой задачи осуществляется методами строительной механики, теории упругости, теории пластичности и ползучести. Инженерный расчет на этом не заканчивается. Иными словами, ставится задача оценки надежности службы конструкции в течение установленного срока. Поэтому второй этап состоит в сопоставлении напряжений, перемещений и деформаций с допустимыми значениями или в сопоставлении расчетных нагрузок с предельными. Этот этап является элементарным. Но именно здесь косвенными и довольно примитивными методами выбирается достаточно надежная, долговечная и экономичная конструкция.

Статистическое истолкование коэффициентов запаса приводит к более обоснованному и глубокому способу оценки надежности. При этом первый этап расчета должен быть трансформирован в том смысле, что для суждения о надежности необходимы сведения о поведении проектируемой конструкции в условиях эксплуатации. Так появляется проблема учета случайного характера внешних сил и воздействия, а также случайную природу физических и геометрических параметров конструкции. По существу возникают новые задачи механики деформируемого твердого тела – нахождение вероятностных характеристик поведения конструкции по заданным вероятностным характеристикам внешних условий и случайных параметров конструкции. Такое направление в механике, следуя /8/, можно характеризовать как статистическую механику конструкций.

Следует отметить, что впервые вопросы теории надежности были поставлены именно в механике. Первыми работами по теории надежности следует считать исследования М. Мейера /4/ и Н.Ф. Хоциалова /25/. В них впервые была подвергнута критике концепция допускаемых напряжений и коэффициентов запаса. В противовес указанной концепции была озвучена мысль о применении статистических методов к

расчетам на прочность. В упомянутых исследованиях нашли отражение некоторые понятия теории надежности. Огромная роль в деле внедрения в механику сооружений статистических методов принадлежит Н.С. Стрелецкому /23/. В неявной форме его концепция надежности сооружений вошла в метод расчета конструкций по предельным состояниям.

В более поздний (послевоенный) период появляются работы А.Р. Ржаницына /21/, А.М. Фрейденталя /2/, А. Джонсона /3/ и др. Для них характерны простейшие схемы расчета, не требующие сложного аналитического аппарата. По существу удалось получить качественный анализ явления, изучить влияние изменчивости нагрузок и прочности на надежность, сформулировать оптимизационную задачу и т.д. В этот же период началось внедрение статистических методов в машиностроение, судостроение, авиастроение и другие отрасли техники. В машиностроении, в частности, задача надежности решалась в контексте проблемы долговечности деталей машин, работающих в условиях переменных напряжений /11, 22/.

Последнее тридцатилетие характеризуется резким повышением объема и уровня исследований. Здесь можно выделить три взаимно увязанные идеи, на которых строится теория надежности конструкций. В качестве первой идеи принято отчетливое признание случайности внешних условий эксплуатации конструкции и ее поведение в процессе указанных условий. Поэтому правильное решение проблемы надежности возможно лишь с привлечением теории случайных функций. Вторая идея сводится к выявлению основного показателя надежности, в качестве которого принята вероятность пребывания параметров системы в некоторой допустимой области. Нарушение нормальной эксплуатации интерпретируется как выход из указанной области. Третья идея связана с выявлением причины выхода конструкции из строя, за которую принимается следствие накопления повреждений - остаточных деформаций, износа, различного рода несовершенств, и т.п. Эти повреждения, достигнув определенного значения, начинают препятствовать нормальной эксплуатации конструкции. Таким образом, свойственная ранним работам элементарная трактовка показателя надежности, как вероятности выполнения некоторого неравенства, уступила место более глубокой и адекватной трактовке на основе теории случайных функций /7, 8, 24, 12, 1, 20, 13, 26/.

Проблема обеспечения качества и повышения надежности сооружений – одна из наиболее важных при их проектировании, строительстве и эксплуатации. В сложной «плохо организованной» технической системе, какой является строительный объект, полностью избежать нарушений целостности конструкций не представляется возможным. С первого дня существования здания в отдельных его узлах, сопряжениях и конструкциях начинают происходить изменения, выражающиеся в ухудшении эксплуатационных показателей. Но все изменения через какой-то промежуток времени приводят к нарушению работоспособности (невозможности выполнения заданных функций или разрушению). Эти процессы могут быть совершены в течение времени медленно, интенсивно, непрерывно. Они могут носить и другой характер — случайно, бессистемно и динамично, который приводит к авариям и разрушениям. Таким образом, на протяжении всего срока нормального функционирования имеется вероятность выхода из строя отдельных элементов конструкции (системы) или всего здания полностью. Чем меньше такая вероятность, тем надежнее система (здание) или состояние конструкций.

Важной задачей анализа надежности конструкций или технических систем является регламентация и нормирование всех расчетных показателей и характеристик. Решение указанной задачи заключается в создании методов оценки надежности на основе вероятностных моделей, характеризующихся точными аналитическими и количественными определениями независимо от многообразия факторов. Наряду с совершенствованием методов расчета здесь необходимы обширные теоретико-экспериментальные исследования, направленные на установление взаимосвязи между расчетными и реальными характеристиками или показателями, обусловленные изменчивостью во

времени и вероятностным характером внутренних свойств (материала) системы и внешних условий (нагрузок и воздействий). Поэтому важнейшей проблемой является исследование и совершенствование методов расчета и нормирования надежности строительных конструкций в целях обеспечения долговечности и снижения материалоемкости.

Заложенные в системе СНиПов принципы нормирования, регламентирующие правила расчета строительных конструкций на основе метода предельных состояний, развивались в большой степени стихийно. Поэтому отсутствие общей теоретической базы привело к проектированию конструкций с уровнем надежности, который колеблется в широких пределах. Совершенствование норм на основе теории надежности должно привести к необходимости включения в них указаний по выбору необходимого уровня надежности с учетом оптимизации затрат. При этом должны быть указаны способы определения проектных параметров конструкций с заданным уровнем надежности. Можно утверждать, что в расчетах надежности конструкций имеется огромное количество «белых пятен».

Список литературы

1. Ditlevsen O. Narrow reliability analysis of frame structures//j. Struct. Engineering? 1988. - ASCE, vol. 113. - № 1 - p. 38-49.
2. Freudenthal A.M. Safety and probability of structural failure // Proc. Amer. Soc. Civil Engrs. 1954. - № 408. - 337-345 p.
3. Jonson A.J. Strength, Safety and economical dimensions of structures // Bull. Div. Struct. Engng, Roy. Inst. Technology. - Stockholm, 1953. №12. - p.178-186.
4. Mayer M. Die Sicheheit der Bauberte und ihre Berechnung nach Granz kraften. Satt nach zulassigen Spannungen. - Berlin: Springer Verlag, 1926.-P. 111-126.
5. Балышев И.А. Статистический анализ данных о температурах воздуха для расчета конструкций [Текст] / И.А. Балышев, Л.В. Клепиков // Труды ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1976. - Вып. 42. - с. 11-34.
6. Барлоу Р. Математическая теория надежности [Текст] / Р. Барлоу, Ф. Прошпан. – М.: Советское радио, 1969. - 488с.
7. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности и расчетах сооружений [Текст] / В.В. Болотин. - М.: Стройиздат, 1982. - 351с.
8. Болотин В.В. Статистические методы в строительной механике [Текст] / В.В. Болотин. - М.: Стройиздат, 1965. - 279с.
9. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности [Текст]. / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. - М.: Наука, 1965. - 524 с.
10. Статистические методы в прикладной кибернетике [Текст] / В.И. Городецкий, А.Я. Иоффе, Л.М. Морозов и др. - - JL: Министерство обороны СССР, 1980. - Вып. 7. - с. 130.
11. Екимов В.В. Вероятностные методы в строительной механике корабля. [Текст] / В.В. Екимов. - Л.: Судостроение, 1966. - 239 с.
12. Кудзис А.П. О вероятностном расчете железобетонных конструкций [Текст] / А.П. Кудзис // Бетон и железобетон. - 1998. - №7. - с. 41-42.
13. Кутуев М.Д. Комплексные модели для исследования инкриминируемых предельных состояний плоских и пространственных систем [Текст]: Дисс. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук/ М.Д. Кутуев. - Бишкек: КАСИ, 1993. - 298 с.
14. Куюнджич С.М. Модели надежности технических объектов [Текст] / С.М. Куюнджич // Сб. трудов Междун. конф. «Надежность и управление». - Архангельск, 2000. - с. 12-17.
15. Куюнджич С.М. Разработка и анализ моделей надежности и безопасности систем [Текст] / С.М. Куюнджич. - М.: Физ.мат.лит., 2001. - 464с.

16. Налимов В.В. Теория эксперимента [Текст] / В.В. Налимов. - М.: Наука, 1971. - с. 345.
17. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств[Текст] / П.В. Новицкий. - Л.: Энергия, 1968. - 248 с.
18. Петухов Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов[Текст] / Г.Б. Петухов. - Ч. I. Методология, методы, модели. - Л: Министерство обороны СССР, 1980. - 217 с.
19. Половко А.М. Основы теории надежности [Текст] / А.М.Половко. - М.: Наука, 1964. – 446с.
20. Райзер В.Д. Методы теории надежности в задачах нормирования расчетных параметров строительных конструкций[Текст] / В.Д. Райзер. - М.: Стройиздат, 1986. - 192с.
21. Ржаницын А.Р. Теории расчета строительных конструкций на надежность[Текст] А.Р. Ржаницын. - М.: Стройиздат, 1978. - 239с.
22. Серенсен С.В. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность [Текст] / С.В. Серенсен, В.П.Кочаев, Р.М.Шнейдерович. - М.: Машиностроение, 1975. - 488с.
23. Стрелецкий Н.С. Основы статистического учета коэффициентов запаса прочности сооружений [Текст] / Н.С. Стрелецкий. - М.: Стройиздат, 1947. - с.201.
24. Тулемышев М.Ш. О прогнозировании – механических в изделиях с анизотропной структурой ультразвуком [Текст] / М.Ш. Тулемышев, Е.А.Столярова, Б.М.Сеитов // В кн. Экспериментальные исследования инженерных сооружений. Тезисы докладов V Всесоюзной конференции (Таллин, сентябрь, 1981). - Киев: НИИСК, 1981. - с.118.
25. Хоциалов Н.Ф. Запасы прочности [Текст] / Н.Ф. Хоциалов // Строительная промышленность. - 1929. - №10. - с 840-844.
26. Шабданов М.Д. Исследование надежности железобетонных конструкций с применением вероятностных моделей накапливаемых повреждений[Текст]: Дисс. на соиск. учен. степ. канд.техн.наук / М.Д.Шабданов . - Ош: ОшГУ, 2000. - 247 с.