

О НАДЕЖНОСТИ ПРОМЫШЛЕННО-ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ В РАЙОНАХ С ПОВЫШЕННЫМ СЕЙСМИЧЕСКИМ РИСКОМ

Е.Н. Быцань

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, г. Киев, Украина, byzan@ukr.net

Введение

Надежность больших промышленно-хозяйственных сооружений в районах с повышенным сейсмическим риском является одной из самых важных прикладных задач строительной механики. Под надежностью понимают способность определенного промышленного сооружения (системы) выполнять свои заданные функции на протяжении определенного обусловленного времени при заданных условиях эксплуатации [1]. Невозможность системы выполнять свои функции называют отказом. Причины отказа есть выход нормативных параметров системы за определенные границы, которые делает невозможным выполнение ее функций. Таким образом, вопрос о надежности промышленно-хозяйственных сооружений сводится к анализу вероятностных характеристик их нормативных параметров, и задача о надежности сооружения сводится к определению вероятности превышения определенных критических значений нормативных параметров.

Надежность

Надежность зависит от структуры объекта и его параметров. Самая важная задача надежности есть исследование долговечности (безаварийности) работы системы. Для этого нужно проанализировать работу всех элементов системы и выяснить, от каких факторов зависит работоспособность системы на протяжении заданного (гарантированного) времени. Исторически о надежности стали говорить в 50-х годах XX столетия, но эти вопросы были актуальными с давних времен. Тогда речь шла, прежде всего, о проблеме долговечности сооружений, которая включала в себе как технологические вопросы, связанные со свойствами материалов, из которых возводились сооружения, так и все иные вопросы, относящиеся к технике строительства. Еще следует заметить, что вопрос о долговечности приобрел особый теоретический аспект после разработок основ теории упругости и ее прикладных вариантов – сопротивления материалов и строительной механики.

Надежность – это качественная абстрактная характеристика, которая не является физическим параметром и не может быть измерена никакими приборами. Она может быть подсчитанной с помощью определенного алгоритма для определения искомой характеристики исследуемого объекта. Разработка этого алгоритма и является целью исследования задачи о надежности промышленного объекта.

Понятие безотказности, долговечности и надежности промышленно-хозяйственных сооружений тесно связаны между собою. Первое из этих понятий – безотказность – тесно связано с термином отказ. Это случайное событие, которое представляет собой выход промышленно-хозяйственного сооружения из эксплуатации. Они являются взаимодополняющими в том смысле, что вероятность отказа γ_1 и вероятность безотказной работы γ_2 удовлетворяют такому соотношению:

$$\gamma_1 + \gamma_2 = 1.$$

Причиной отказа может быть целый комплекс событий (вектор состояния системы), вследствие которых система может выйти из строя. Самые главные причины отказов – превышение критических значений прочностных параметров сооружения. Требование к надежности заключается в том, что должны учитываться все возможные ситуации. Отказы могут быть случайными или закономерными в зависимости от того, прогнозируются ли они условиями эксплуатации промышленно-хозяйственных объектов и могут быть учтены технологически, или имеют случайный непредсказуемый характер. В первом случае отказ зависит от условий и режима эксплуатации, когда определенные элементы промышленно-хозяйственного объекта имеют гарантийный термин работы меньший, чем термин работы этого объекта в целом, что требует плановой замены или планового ремонта этих элементов. Могут быть непредсказуемые ситуации, которые учитываются с помощью теории риска путем введения коэффициентов запаса. Еще следует учесть необходимость постоянного мониторинга смещений, деформаций и напряжений в самых важных элементах сооружения с целью не пропустить опасную ситуацию вследствие возникновения напряжений, которые превышают расчетные значения и могут приближаться к критическим.

Промышленно-хозяйственное сооружение усложняется с увеличением количества его составляющих, и есть смысл разбивать его на отдельные блоки, заменяя связь между ними

определенными усилиями и исследуя надежность работы каждого из этих блоков в отдельности. В этом случае для исследования надежности нужно исследовать цепочку – надежность, отказ, риск, коэффициент запаса всех блоков промышленно-хозяйственного объекта.

Сейсмостойкость и теория риска

Одним из самых важных вопросов есть сейсмостойкость сооружения (объекта). Основной задачей сейсмостойкости есть исследование взаимодействия механических (волновых) процессов с промышленно-хозяйственными сооружениями [2, 3] и выдаче информации о способности промышленно-хозяйственного сооружения выполнять свои функции, т.е. о его надежности. Гарантия работоспособности сооружения дается с помощью математической модели промышленно-хозяйственного объекта, которая позволяет прогнозировать изменение нормативных параметров на протяжении расчетного термина работы сооружения, для чего необходимо знать изменение механических параметров промышленного объекта в любой заданный момент времени. Механические параметры сооружения изменяются вследствие механического износа и накопления пластических деформаций, усталостных повреждений, деформаций ползучести и т.п. Параметры промышленно-хозяйственных объектов определяются с определенными погрешностями и носят случайный характер, вследствие чего границы для параметров, которые определяют допустимые значения, гарантирующие безотказную работу сооружения, подсчитываются и оцениваются с помощью вероятностных методов. Они имеют определенную специфику, а потому нужно четко знать возможности этих методов. Существует две стороны применения вероятностных и статистических методов – переоценка роли статистических методов и их недооценка. Сущность проблемы в том, что статистические методы целесообразно применять в случае массовых событий. В задачах строительной механики, задачах сейсмостойкости мы имеем дело с конкретными объектами, а не с массовыми событиями. Сущность надежности проявляется в разработке количественных характеристик безотказности, долговечности и ремонтоспособности промышленно-хозяйственных сооружений. Учет вероятностной природы нормативных параметров промышленно-хозяйственных объектов требует применения вероятностных методов, и в первую очередь функции распределения механических и нормативных параметров сооружения. Обычно применяют нормальное распределение, для чего требуется определить математическое ожидание и дисперсию рассматриваемых параметров. Еще следует заметить, что для того, чтобы можно было говорить о достоверности полученных результатов, относящихся к событиям с малой вероятностью, необходимо иметь большой экспериментальный материал, значительно превосходящий возможности исследователя. Так, например, число данных (испытаний) для того, чтобы с достоверностью, равной 90%, доверительный интервал равнялся 0,01, число экспериментов должно быть порядка одного миллиона [2].

Все сводится к определению критической величины сейсмического импульса, порожденного сейсмической волной, особенности которой зависят от свойств среды, в которой она распространяется, и параметров землетрясения (расстояния к эпицентру и поглощающих свойств среды). Информация о величине сейсмического импульса (удара) является одним из важнейших элементов математической модели. Она определяется разнообразными методами и необходима для определения напряжений и деформаций в элементах промышленно-хозяйственных сооружений. Главная сложность проблемы заключается в том, что сейсмические волны невозможно описать аналитически, что необходимо при решении динамической задачи строительной механики. Учет случайного характера сейсмической волны требует применения методов теории вероятности. Сложность проблемы вызвана тем, что о природе землетрясения и механизме взаимодействия сейсмической волны и сооружения имеется очень мало достоверной информации. Задача сводится к статистическому анализу воздействия сейсмической волны на сооружение и определению вероятности выхода сооружения из эксплуатации, чем и занимается теория надежности. Импульс не должен превышать критических значений в том плане, что вызванные им деформации и напряжения должны быть меньше критических значений, которые вызывают необратимые разрушения в элементах сооружения. Еще нужно учитывать окончательные деформации после землетрясений, их накопление после серии сейсмических импульсов. Вообще необходим мониторинг за состоянием сооружения с целью уточнения его параметров, в частности смещений, деформаций и напряжений в критических местах, с целью предупреждения недопущения аварийных ситуаций.

Большое значение имеет оценка точности математической модели, которая зависит от многих факторов. Прежде всего, речь идет об учете всех моментов, от которых зависит решение динамической задачи теории упругости – краевые условия, механические параметры, пренебрежение

величинами, влияние которых имеет одинаковый порядок с погрешностями механических параметров. Точность математической модели определяет точность определения смещений, напряжений и деформаций, которые являются одними с самых важных нормативных параметров, с помощью которых можно строить заключения о надежности промышленно-хозяйственного сооружения. Вопрос о точности сводится к оценке расчетных величин с реальными, полученными с помощью мониторинга сооружения. С помощью этой информации можно сделать выводы о динамике нормативных параметров и о вероятности превышения их критических значений. Далее следует заметить, что вопрос точности решения динамической задачи строительной механики достаточно многогранный. Во-первых, возможны погрешности вследствие неточности механических параметров материалов. Во-вторых, существуют погрешности вследствие упрощений в математической модели. Суммарные погрешности могут быть достаточно значительными – например, расчетные собственные частоты сооружения могут существенным образом отличаться от полученных экспериментально [4].

Еще заметим, что любая конструкция в процессе эксплуатации испытывает определенный риск. Риск включает большой круг вопросов, которые можно разбить на три группы: риск, вызванный природными факторами, риск, связанный с деятельностью человека – человеческий фактор, и риск, вызванный хозяйственной деятельностью. К первой группе относятся задачи сейсмостойкости. Вторая группа вопросов сводится к построению математической модели, с помощью которой анализируются все риски, возникающие при работе промышленно-хозяйственных сооружений, которые учитываются при построении инженерного решения. Заметим, что рассчитанные с помощью математической модели значения напряжения и деформации не совпадают с реальными. Теория риска подсчитывает риски для различных вариантов расчетов с тем, чтобы выбрать оптимальный, для которого риск будет минимальным. Внешние силы оцениваются по своим максимальным значениям, и вследствие этого конструкция становится более габаритной и дорогой. Теория риска преследует цель уменьшить стоимость сооружения, не уменьшая ни в коем случае ее прочность. Это достигается путем уменьшения механических параметров системы без уменьшения критических значений ее параметров. Третья группа связана с хозяйственной деятельностью и учитывает вероятность отрицательного влияния этих объектов на его работу. Риск подсчитывается для событий, которые могут состояться с определенной вероятностью. Риск связан с затратами на строительство и зависит от большого комплекса причин, прежде всего от назначения, условий работы и времени эксплуатации хозяйственного комплекса. Риск подсчитывается для неизвестных и случайных элементов (событий), влияющих на работу исследуемого объекта, причем случайным событием будем считать такое прогнозируемое событие, которое может наступить с определенной вероятностью, в отличие от события, которое не рассматривается как возможное.

Выводы

Важнейшим элементом задачи о надежности промышленно-хозяйственного объекта в районах с повышенным сейсмическим риском является построение его математической модели и решение динамической задачи строительной механики для этого сооружения. Это дает расчетные значения нормативных параметров, характеризующих работоспособность сооружения, которые можно сравнить с реальными, полученными с помощью мониторинга промышленно-хозяйственного объекта. Одним из важнейших элементов математической модели является анализ взаимодействия сейсмической волны с сооружением.

Список литературы

1. Половко А.М. Основы теории надежности / Половко А.М. – Москва: Наука, 1976. – 277 с.
2. Болотин В.В. Статистические методы в строительной механике / Болотин В.В. – Москва: Стройиздат, 1965. – 280 с.
3. Медведев С.В. Инженерная сейсмология /Медведев С.В. – Москва: Стройиздат, 1978. – 204 с.
4. Карапетян Б.К. Колебания сооружений, возведенных в Армении / Карапетян Б.К. – Ереван: Айастан, 1967, – 172 с.