

А.А. Стоценко
С.И. Доценко
Н.Я. Цимбельман
Т. Ченз
С. Рудченко



КУРС ТЕОРИИ СООРУЖЕНИЙ

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА



Нагрузка и оценка эксплуатационных качеств
сооружений при динамических воздействиях
землетрясений и ветра

***Посвящается шестидесятилетию
кафедры теории сооружений
(1947-2007)***

**А.А. Стоценко, С.И. Доценко, Н.Я. Цимбельман,
Т. Ченз, С. Рудченко**

КУРС ТЕОРИИ СООРУЖЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

в трёх частях

Часть 1 ТЕОРИЯ СООРУЖЕНИЙ В ИНЖЕНЕРНОМ ДЕЛЕ

Рекомендовано Дальневосточным региональным учебно-методическим центром в качестве учебного пособия для студентов специальностей 270102 «Промышленное и гражданское строительство», 270104 «Гидротехническое строительство», 270114 «Проектирование зданий» вузов региона

**ВЛАДИВОСТОК
2007**

А.А. Стоценко, С.И. Доценко, Н.Я. Цимбельман,
Т. Ченз, С. Рудченко

КУРС ТЕОРИИ СООРУЖЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

в трех частях

Часть 1 ТЕОРИЯ СООРУЖЕНИЙ В ИНЖЕНЕРНОМ ДЕЛЕ

ПРИЛОЖЕНИЕ 2



Издательство
ДВГТУ

Стоценко А.А. Курс теории сооружений. Строительная механика. Ч.1. Теория сооружений в инженерном деле. Приложение 2. Нагрузка и оценка эксплуатационных качеств сооружений при динамических воздействиях землетрясений и ветра / А.А. Стоценко, С.И. Доценко, Н.Я. Цимбельман, Т. Ченз, С. Рудченко. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 80с.

Излагается инженерная теория сооружений, используемая в оценке эксплуатационных качеств строительных конструкций при динамических воздействиях. Разбираются вопросы определения нагрузок при сейсмическом и ветровом воздействии на консольные сооружения на основе концепции сил. Даются практические примеры, а также примеры для самостоятельного решения.

Учебное пособие предназначено для бакалавров, магистров, инженеров, аспирантов строительных специальностей.

Рецензенты:

Член-корр. РААСН, Засл. деятель науки и техники РФ, д-р техн. наук, проф. П.А. Аббасов (Дальневосточный научно-исследовательский и проектно-технологический институт Российской Академии архитектуры и строительных наук);

Кафедра механики деформируемого твёрдого тела Тихоокеанского государственного университета (зав. кафедрой кандидат технических наук, доцент А.А. Вайсфельд).

Ответственный редактор –
доктор технических наук, профессор **А.А. Стоценко**

© А.А. Стоценко, С.И. Доценко, Н.Я. Цимбельман, Т. Ченз, С. Рудченко

© ДВГТУ, Изд-во ДВГТУ, 2007

ПРЕДИСЛОВИЕ

В классических курсах строительной механики динамика сооружений ввиду ее специфики выделяется в отдельную дисциплину и изучается самостоятельно. В настоящем курсе мы посчитали возможным не выделять динамику отдельно, а разобрать ее в рамках концепции сил, так как принципиально оценка эксплуатационных качеств сооружений проводится на той же модели, решаются те же проблемы, что и при статическом воздействии.

В инженерных расчетах сооружений значительное отличие динамических и статических воздействий наблюдается в решении проблемы внешних сил, в которой учитывается инерция среды и сооружения. Внешние силы (максимально возможные усилия в связях между сооружением и средой) в инерционной среде часто находятся как квазистатические. При таком подходе решение проблем внутренних сил и оценки прочности не отличается от традиционных, рассмотренных ранее.

Мы разберем два климатических воздействия, которые имеют большое значение при проектировании сооружений – сейсмическое (воздействие землетрясений) и движение воздушной среды (ветровое воздействие).

Кроме оценки традиционных качеств: прочности, жесткости, устойчивости, долговечности при динамическом воздействии возникает необходимость оценить и другие качества. Например, качества, имеющие физиологический характер, влияющие на жизнь, здоровье (вызывающие вибрационную¹ или морскую² болезнь) и работоспособность людей. Такое влияние оценивается через предельные частоты³, амплитуды⁴, скорости и ускорения движения сооружений.

Мы обсудим только вопросы определения силовых нагрузок. А оценку физиологических, и других специфических качеств сооружений и связанных с ними величин предельных характеристик рассматривать не будем. Материалы по предельным физиологическим нагрузкам и характеристикам комфорта могут быть заимствованы в литературе, санитарных нормах и сведениях, которые любезно предоставляет фирма SWMB (Skilling Ward Magnusson Barkshire Inc., США).

¹ Вибрационная болезнь имеет основные симптомы: слабость и боль в конечностях, судороги рук и ног, побеление пальцев, плохой сон, головные боли.

² Морская болезнь имеет основные симптомы: головокружение, тошнота, рвота.

³ Частота - количество колебаний в единицу времени, измеряется в герцах – количество колебаний в одну секунду (круговая частота - количество колебаний в 2π секунд)

⁴ Амплитуда - (лат. - amplitude - увеличиваю, усиливаю) - наибольшее значение или отклонение от заданного значения (например, положения равновесия) некоторого параметра (например, усилия или перемещения) при колебаниях.

В фирме SWMB накоплен значительный опыт защиты и регулирования динамических характеристик рабочего состояния сооружений с помощью конструктивных мероприятий (гасителей колебаний и демпферов), которые приводят к снижению силовых и физиологических нагрузок, мы разберем эти вопросы в дальнейшем при решении проблемы регулирования.

Ответственный редактор учебного пособия приносит благодарность соавторам настоящего приложения за согласие участвовать в его создании, а также выражает признательность фирме SWMB за разрешение использовать ее опыт проектирования ответственных сооружений при динамических воздействиях.

ВВЕДЕНИЕ

Принципиальные положения концепции сил позволяют подойти к количественной оценке эксплуатационных качеств сооружений практически при любом воздействии. В каждом частном случае должны быть решены основные проблемы: проблема внешних сил (или перемещений), проблема внутренних сил (или деформаций) и проблема предельных сил (деформаций или перемещений).

Проблема внешних сил зависит от свойств среды, в которой находится сооружение. Мы ранее останавливались на решении этой проблемы при *статическом* воздействии среды, имеющей постоянные, не изменяющиеся во времени, параметры. *Динамические* воздействия изменяются во времени достаточно быстро и имеют значительную величину, оказывают существенное влияние на интенсивность внешнего воздействия на сооружения и на его напряженно деформируемое состояние. Нагрузка становится зависимой не только от параметров движения среды, но и от динамических характеристик (скоростей, ускорений, амплитуд и частот колебаний) самого сооружения. Статическое воздействие является частным случаем динамического воздействия.

При динамических воздействиях мы сталкиваемся со средой, которую назовем *инерционной*. Инерционной средой может считаться и статическая - гравитационная среда (собственный вес, полезная, снеговая нагрузка и др.), но в ней ускорение силы тяжести, переводящее массу в силу (нагрузку) по известному закону Ньютона, является постоянным. При динамическом воздействии инерционная среда характеризуется переменным и подчас априори (заранее) неизвестным ускорением и скоростью.

Мы займемся двумя динамическими воздействиями, имеющими первостепенное значение для строительства. Это сейсмические воздействия (землетрясения) и ветровые (ураганы, штормы, торнадо). Рассматриваемые природные явления относят к классу катастрофических.

Главной причиной материальных и людских потерь при таких воздействиях являются разрушающиеся здания и сооружения, которые теряют эксплуатационные качества и под обломками которых гибнет все, что находилось в них или около, включая и людей. Однако при внимательном и грамотном подходе к проектированию, строительству и эксплуатации сооружений, значительных разрушений можно избежать или уменьшить отрицательные последствия такого рода воздействий.

Имеются примеры эффективного уменьшения потерь от землетрясений в местах, где вопросам строительства и защиты населения уделяется особое внимание. Так, в г.Сан-Франциско (Калифорния, США), в котором издавна

строились дома с соответствующей защитой, при землетрясении 18 апреля 1906 г. с магнитудой⁵ 8.5 потери составили 700 человек с незначительными разрушениями построек.

По сравнению с потерями в других местах (Нефтегорск, Сахалинская область 25 мая 1995 года, магнитуда составляла 6.5, погибло 2000 человек, и были разрушены все построенные дома; Китай, Таншань, 27 июля 1976 г., магнитуда - 8.0, погибло около миллиона человек; Марокко, Агадир, 29 февраля 1960 г., магнитуда - 5.8, погибло 15 тысяч человек; Иран, Кизван, 1 сентября 1962 г., магнитуда - 7.1, - 12 тысяч; Перу, Чимботе, 31 марта 1970 г., магнитуда 7.7 - 60 тысяч) упомянутое катастрофическое землетрясение в Калифорнии всего лишь серьезное происшествие. Новая Зеландия, использовавшая опыт США в защите от землетрясений, 2 февраля 1995 г. при землетрясении с магнитудой 8.3 потеряла 256 жизней.

Подобные сведения по результатам действия сильных ветров и удачного проектирования сооружений в условиях сильного ветрового воздействия можно почерпнуть в литературе⁶.

При построении теоретических основ расчета сооружений на динамические воздействия приходится обращать внимание на специфические характеристики эксплуатационных качеств. Известно, например, что по мере удаления от поверхности земли помехи движению атмосферного воздуха уменьшаются, ветровая нагрузка при этом увеличивается и становится более опасной для зданий и сооружений, чем даже сейсмическая. Обтекание их с большой скоростью приводит к срыву вихрей, к раскачиванию сооружений в направлении ветрового потока, а часто и поперек него. Ураганные ветры, особенно на побережье морей и океанов, вызывают неравномерное движение воздуха с ослаблением и усилением давления на здания - такое движение называют **порывным**. Порывы ведут к раскачиванию зданий.

Мы разберем расчет так называемых точечных сооружений (в плане их проекция представляется точкой), расчетной схемой которых является массивная консоль, или консоль с сосредоточенными массами. Однако полученные при этом выводы могут быть перенесены и на другие сооружения.

В настоящее время имеются обширные пакеты вычислительных комплексов, с помощью которых можно рассчитывать сооружения с более сложной расчетной схемой.

Приведенные выше соображения определили и содержание приложения.

В первой главе характеризуется инерционная среда и нагрузка – силы в связях ее с сооружением. Эта нагрузка определяется через динамические характеристики внешнего воздействия (внешней среды) и самого сооружения (амплитуды, скорости, ускорения, частоты).

⁵ Магнитуда - (лат. magnitudo - величина) условная единица, характеризующая общую энергию землетрясения или взрыва (максимальное значение ее равно 9)

⁶ Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения. - М.: Стройиздат, 1984 (Перевод с английского Emil Simiu, Robert H. Scanlan Wind Effects on Structures, 1978)

Во второй главе обсуждаются вопросы динамики массивных стержней и невесомых стержней с сосредоточенными массами. Обсуждаются вопросы ортогональности главных форм колебаний и разложение нагрузки по этим формам.

Третья глава посвящена сейсмическим воздействиям и определению расчетных параметров нагрузки на сооружение при землетрясениях.

В четвертой главе характеризуются ветровые воздействия и нагрузка от ветра.

Такое разделение связано с тем, что землетрясение воздействует на нижнюю часть сооружения - фундамент, находящийся в земле, а ветровая нагрузка - на надземную часть сооружения, хотя теоретические основы получения нагрузки практически не отличаются.