

ISSN 1694 - 7797

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF EXPERTS ON EARTHQUAKE ENGINEERING
СЕЙМОТУРУШТУУ КУРУЛУШ БОЮНЧА ЭКСПЕРТТЕРДИН ЭЛАРАЛЫК АССОЦИАЦИЯСЫ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ ЭКСПЕРТОВ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

ВЕСТНИК

МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ЭКСПЕРТОВ
ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

№ 1/2018 (2)

Литература:

1. Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. Капчагайское землетрясение 1 мая 2011 года. – «Вестник НЯЦ РК», -2013 год. – Вып.1, С.103-110.
2. Жалана-Тюпское землетрясение. – Алма-Ата, М.: Наука, 1982. – 145 с.
3. Жунусов Т.Ж., Выпряхкин Ю.А. Инструментальные данные о колебании зданий Алма-Аты при Баканасском землетрясении 25 сентября 1979 года. / В сб. «Исследование сейсмостойкости сооружений и конструкций», вып.12(22), Алма-Ата, 1981 год. – С.87-93.
4. Ержанов С.Е., Лапин В.А., Даугавет В.П. Исследование инструментальных записей инженерно-сейсмометрической службы на Капчагайской ГЭС. // «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», вып.5. – М., 2017. – С.25-29.
5. Лапин В.А., Ержанов С.Е., Даугавет В.П. Анализ инструментальных записей землетрясения 26 марта 2018 года на Капчагайской ГЭС. // «Вестник АО «КазНИИСА». Вып.4(80).– Алматы, 2017. – С.24-30.
6. Ержанов С.Е., Лапин В.А., Даугавет В.П. Генерирование искусственных акселерограмм местных землетрясений. // «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений», вып.4. – М., 2017. – С.56-60.

О МОДЕЛИРОВАНИИ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Маматов Ж.Ы., КГУСТА им. Н. Исанова, г. Бишкек, janybek@mail.ru;
Ненахова И.В., СПбПУ Петра Великого, Россия;
Рудаев Я.И., КРСУ им. Б. Ельцина, г. Бишкек, rudaev36@mail.ru

Деформациялануунун жана жетилбегендиктин топтоолуусунун, курулмалардын ыктымалдуулугунун мүнөздөмөлөрүнүн ортосундагы байланышты аныктоочу моделин түзүү маселеси каралган. Сунуш кылынган моделин негизи болуп синергетикалык ыкма киргизилген, тенсалмактуулуктун шарттары бир система катары иликтенип башкаруу параметрдин өзгөрүүсүнөн көз каранды болот. Жетилбегендиктин топтоолуусунун, бузулуунун жана күч-аракеттердин таасиринин ортосундагы эволюциялык байланышты түзүү зарылдыгын аныктоо.

Негизги сөздөр: өзгөргүчтүк, талкалануу, чыналуу, тоо тектери, туруксуздук, бузулуучулук жана жетилбегендик параметрлери.

Рассматривается задача формулировки модели, устанавливающей связь между вероятностными характеристиками сооружений, деформативностью и накоплением несовершенств. В основу предложенной модели положен синергетический подход, в котором условия равновесия исследуется как система, зависящая от поведения параметра управления. Доказательно определена необходимость установления эволюционной связи между повреждаемостью, накопившимися несовершенства и силовым воздействиями.

Ключевые слова: деформация, разрушение, напряжение, горные породы, устойчивость, параметры несовершенства и повреждаемости.

The problem of formulating models that establishes a connection between the probabilistic characteristics of structures, the deformability and the accumulation of imperfections is considered. The proposed model is based on a synergetic approach, in which the equilibrium conditions are investigated as a system that depends on the behavior of control parameters. Evidently, it is necessary to determine the need for an evolutionary connection between damageability, accumulated imperfections and force effects.

Key words: deformation, destruction, stress, rocks, instability, parameters of imperfection and damageability.

Введение

Бурный рост городов и их урбанизация связана с возрастанием числа техногенных катастроф, выдвигая на первое место проблему обеспечения конструктивной безопасности строительных объектов в ряд важнейших. Хорошо известно, что постановка и решение задач безопасности сооружений базируется на основе теории предельных состояний. Исследование процессов конструктивной безопасности в традиционной форме можно считать не отвечающим современным вызовам. Отсутствие соответствующих нормативных документов приводит к тому, что разрабатываемые новации можно отнести к за проектным воздействиям [1]. Подобные воздействия часто приводят к неожиданным отказам сооружений, которые обуславливают экономический ущерб и, как правило, гибель людей.

Анализ причины возникновения отказов, следствием которых можно считать прогрессирующие обрушения сооружений, определяют актуальность и практическое приложение постановки задач конструктивной безопасности в более расширенных представлениях, чем при оценке по первой и второй группам предельных состояний.

В продолжение сказанному заметим, что сооружение проектируется так, чтобы были обеспечены определенные рабочие параметры. Однако реальное положение не дает возможности гарантировать полное соответствие возводимого объекта проектируемым характеристикам, понятно, что заранее ничего нельзя сказать о степени нарушения такого соответствия, однако, в определенной мере можно предусмотреть чувствительность конструкции к дефектам как исходного состояния, так и накапливаемым в процессе эксплуатации.

Современная концепция приемлемого риска реальности разрушения строительных объектов при неординарных запроектных воздействиях позволяет привлекать для аналитического моделирования теорию повреждаемости сооружений. Последняя может качественно и количественно оценить неразрушаемость сооружения в течение всего расчетного эксплуатационного промежутка времени, включая внезапные запроектные воздействия.

Таким образом, накопленный уровень знаний в области статике и динамики сооружений позволяет перейти от общих концептуальных положений живучести конструкций к моделированию процессов деформирования и разрушения в рамках методов нелинейной динамики [2-4] с обеспечением не только конструктивной безопасности, но и живучести объектов.

Постановка задачи

Следуя [5], полагаем, что моделирование реальной нелинейной физико-механической системы динамического типа начинается с введения координат состояния $\eta_i (i \in \overline{1, k})$, называемых параметрами порядка. К ним добавляется дополнительное множество параметров F_i , имитирующих отклик на изменение параметров η_i , и представляющих собой внешние воздействия. Кроме того, предполагается наличие параметров β_i , ответственных за дефекты (несовершенства) исходного состояния системы и развивающиеся в процессе ее эксплуатации.

В соответствие сказанному рассмотрим задачу моделирования несущей способности строительного объекта, которая ассоциируется с нелинейной динамической физико-механической системой.

Текущее состояние системы представим в виде диссипативной среды, которой соответствует потенциальной функцией вида:

$$\Phi = \Phi(F, \eta, \beta) \quad (2.1)$$

где, как принято выше, F, η – силовой и деформационно-временной факторы, β параметр несовершенства.

Далее полагаем, что в процессе эксплуатации сооружение проходит ряд состояний, заметное изменение которых осуществляется путем смены диссипативных структур с появлением структур более высокого порядка и сложности. Подобный подход был использован при моделировании деформационного поведения горных пород и бетона с учетом запредельной ветви [5-7].

При таком подходе вполне реально отождествлять деформационное поведение объекта с необратимыми процессами, завершающимися исчерпанием несущей способности.

Возводимые сооружения можно рассматривать как структурно-неоднородные объекты, которые в соответствии с классификацией пространственно-временных диссипативных структур [8] могут считаться локализованными пространственными образованиями, устойчиво существующими в диссипативных неравновесных средах. Именно поэтому, как уже отмечалось выше, процесс снижения несущей способности можно рассматривать как иерархию переходов из одного устойчивого состояния в новое, совершаемое в критических точках.

По существу в процессе эксплуатации в объектах возникают синергетические эффекты [3, 9], причем при медленном характере внешнего воздействия их можно отнести к самоорганизации через управляющие параметры. Приведенные рассуждения свидетельствуют о полезности привлечения при детерминированном моделировании методов математической теории катастроф [10].

Динамическая модель

При формулировке модели градацию процесса эксплуатации будем рассматривать как дискретную Марковскую процедуру [11], в соответствие которой последующие воздействия обусловлены лишь предыдущими событиями и не зависят от предшествующей истории нарушения.

Другими словами, потенциальную функцию (2.1) представим, как суперпозицию потенциала $\Phi_p(F, \eta)$, ответственного за предшествующие состояния, и возмущения $S(F, \eta, \beta)$, учитывающего накопившиеся повреждения (несовершенства) текущего состояния имеем, в форме

$$\Phi(F, \eta, \beta) = \Phi_p(F, \eta) + S(\eta, \beta). \quad (3.1)$$

Потенциальную функцию $\Phi_p(F, \eta)$ можно считать отвечающей некоторой на данный момент совершенной системе, для которой вблизи состояния равновесия возможно разложение в ряд Тейлора вида:

$$\Phi_p(F, \eta) = \Phi_0 + \Phi_1\eta + \frac{1}{2}\Phi_2\eta^2 + \frac{1}{3!}\Phi_3\eta^3 + \dots \quad (3.2)$$

В общем случае выбор параметра порядка η осуществляется так, чтобы совершенная система имела состояние равновесия при $\eta=0$. Тогда должно иметь место равенство

$$\frac{d\Phi_p(F, \eta)}{d\eta} = \Phi_1 + \Phi_2\eta + \frac{1}{2}\Phi_3\eta^2 + \dots = 0 \quad (3.3)$$

Таким образом, приходим к условию $\Phi_0 = \Phi_1 = 0$.

Если предположить, что нагрузка F приближается к расчетной ($F \rightarrow F_c$), то потенциальная функция $\Phi = \Phi(F, \eta)$ запишется в виде

$$\Phi_p(F, \eta) = \frac{1}{2}(F_c - F)\eta^2 + \frac{1}{3}\eta^3 + \dots \quad (3.3)$$

В выражении (3.3) произведена смена масштабов по осям F и η .

Далее считаем, что слагаемыми четвертой и более высоких степеней можно пренебречь.

Критические точки, соответствующие (3.3) определяются обычным способом их соотношения

$$\frac{d\Phi_p}{d\eta} = \eta[(F_c - F) + \eta] = 0. \quad (3.4)$$

Решение уравнения (3.4) дает два корня

$$\eta_1 = 0; \quad \eta_2 = F - F_c \quad (3.5)$$

Отсюда следует, что для совершенной системы смена состояний происходит в момент, когда критические точки η_1 и η_2 проходят одна через другую.

Возмущение $S(\eta, \beta)$ представим в виде морсовского разложения [10]. Имеем

$$S(\eta, \beta) = \beta_1 \eta + \frac{1}{2} \beta_2 \eta^2 + \frac{1}{3} \beta_3 \eta^3 + \dots \quad (3.6)$$

Формула (3.6), как ясно из [10], может быть представлена в канонической форме [2] посредством соответствующей нелинейной замены. Такая замена возможна математически, но с физической точки зрения она приведет к сложной нелинейной связи между силовой составляющей F и параметрами несовершенства β_1 . Поэтому, следуя [10], отбросим в (3.6) все члены, кроме линейного.

Тогда потенциальная функция $\Phi(F, \eta, \beta)$ (3.1), моделирующая несовершенную систему, запишется так

$$\Phi(F, \eta, \beta) = \beta_1 \eta + \frac{1}{2} (F_c - F) \eta^2 + \frac{1}{3} \eta^3. \quad (3.7)$$

Критические точки отвечают равновесному состоянию и определяются условием

$$\frac{d\Phi}{d\eta} = \beta_1 + (F_c - F) \eta + \eta^2 = 0. \quad (3.8)$$

Уравнение (3.8) с точки зрения теории катастроф можно рассматривать как двумерное многообразие, заключенное в пространство $|R|^3$ с координатными осями η, F, β_1 . Состояния равновесия будут найдены для каждого $\beta_1 = \text{const}$.

Отметим, что поведение несовершенной системы зависит от знака параметра несовершенства $\beta = \beta_1$. Из решения уравнения (3.8)

$$\eta_{1,2} = -\frac{F_c - F}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{F_c - F}{2}\right)^2 - \beta} \quad (3.9)$$

видно, что при $\beta < 0$ существуют две критические точки, а при $\beta > 0$ имеется область, в которой функция (3.7) вообще не имеет критических точек. Последнее имеет место при выполнении условия

$$\left(\frac{F_c - F}{2}\right)^2 - \beta < 0. \quad (3.10)$$

Обсуждение результатов

1. Условие $\beta \leq 0$ означает существование локально устойчивого равновесия при всех значениях внешнего воздействия и, следовательно, приводит к установлению некоторого критерия, характеризующего безопасность эксплуатации строительного объекта. Например, система предполагается безопасной, если при критическом нагружении F_c переменные состояния (параметр порядка) превышают некоторое предписанное безопасное значение $k: |\eta| > k$.

2. При $\beta = \beta_1 > 0$ необходимость в подобной оценке отпадает, поскольку при $F = F_c$ устойчивое состояние равновесия перестает существовать. Здесь становится понятным, что чувствительность к накапливаемым несовершенствам слабо зависит от параметров $\beta_1, \beta_2, \dots$

...ально - от $\beta_1 = \beta$. Поэтому принятое выше решение исключить все возмущения, кроме линейного (3.7), можно считать объективным.

3. Для несовершенных объектов, описываемым потенциальной функцией (3.7), при достижении внешних воздействий критического показателя F_c естественно предположить появление динамических флуктуаций, существенно снижающих несущую способность. Например, сейсмический фактор может привести при $F = F_c$ к переходу системы через потенциальный барьер. По существу динамические воздействия могут привести устойчивый случай $\beta < 0$ к потере устойчивости. Эти переходы из устойчивого состояния в неустойчивое при динамических воздействиях сопровождаются возникновением неадекватных решений [1] в форме появления «странных аттракторов» [12]. Последнее требует отдельного рассмотрения.

О взаимосвязи несовершенства и повреждаемости

При постановке задачи исследования деформационного поведения строительного объекта было введено предположение об иерархичности состояний его в форме смены типа устойчивости. Наиболее чувствительной составляющей потенциальной функции (3.7) к возможным флуктуирующим воздействиям можно считать параметр несовершенства β . Поскольку рассматриваемый подход для моделирования необратимых процессов, сопровождающим эксплуатацию сооружений, относится к синергетическому, то решающее значение придается процессу управления указанным параметром. Вполне совершенно, что на параметр несовершенства β можно считать вероятностной характеристикой.

С другой стороны, за последние тридцатилетие получила значительное развитие механика разрушения, основанная на концепции накопления повреждений [13, 14]. Интегральная характеристика процесса накопления повреждений названа параметром повреждаемости.

Отметим, что пионерским здесь следует считать исследование [13], в котором впервые была введена мера повреждаемости (скалярная функция ψ). Предполагалось, что функция ψ принимает нулевое значение при разрушении и равняется единице при полном отсутствии ψ несовершенств. В [14] предложен параметр ω , определяемый через функции ψ зависимости

$$\omega = 1 - \psi \quad (5.1)$$

Параметр ω , назван параметром повреждаемости и оказался более востребованным, чем параметр сплошности ψ .

Введение параметра ω позволяет ограничить на величину параметра порядка $\eta \in (0,1)$. Связь процесса эксплуатации сооружения, ассоциируемого с развитием размытого фазового превращения, позволяет схематично представить зависимость $\omega = \omega(\eta)$ в форме кривой логистического [2] типа (рис.1)

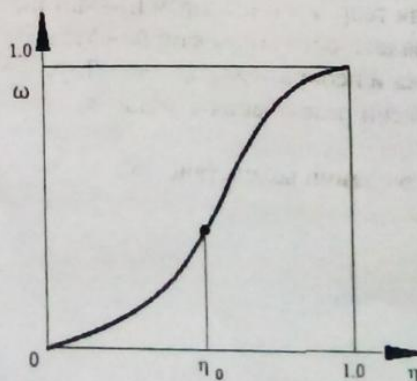


Рис.1.

Характер поведения функции $\omega = \omega(\eta)$ предусматривает наличие точки перегиба при $\eta = \eta_0$, отвечающей за смену типа устойчивости, заложенную в модели (3.5)

$$\eta_0 = \eta_2 = F - F_c \quad (5.2)$$

Заключение

Введением параметра повреждаемости утверждается, что строительного объекта не является мгновенным актом и представляет собой процесс, подготавливаемый с самого начала эксплуатации за счет накопления несовершенств β . В зависимости от характеристики объекта параметр несовершенства β может принимать любые значения, для установления которого одного условия равновесия (3.8) недостаточно. Поэтому целесообразной представляется разработка системы эволюционных уравнений, связывающих внешние воздействия и несовершенства с повреждаемостью. Наиболее сложной можно считать задачу о формулировке граничных условий для параметра несовершенства β . Указанные условия удобно записать для параметра повреждаемости ω , кинетически выразив его через параметр несовершенства β и, как следствие через силовые воздействия.

Список литературы

1. Ключева Н.В., Бондаренко В.М., Пискунов А.В. Прикладная диссипативная теория конструктивной безопасности железобетона//Известия Орел ГТУ. Серия «строительство, транспорт». 2009. №1/21.-с.8-18.
2. Малинецкий Г.Г. Математические основы синергетики – М.:КомКнига, 2005.-312с.
3. Китаева Д.А., Пазылов Ш.Т., Рудаев Я.И. О приложениях методов нелинейной динамики в механике материалов//Вестник Пермского Государственного Технического Университета. Математическое моделирование систем и процессов. - 2007. - №15. – с.46-70.
4. Рудаев Я.И. Элементы нелинейной динамики в механике материалов и конструкций//Вестник КРСУ. – 2017.т.17.№1.с.42-51.
5. Маматов Ж.Ы. О необратимой деформации горных пород//Проблемы естественно-технических наук, информационных технологий и управления на современном этапе. Бишкек. Изд-во КГУСТА, 2003. - стр. 222-232.
6. Рудаев Я.И., Китаева Д.А., Мамадалиева М.А. Моделирование деформационного поведения горных пород//Записки горного института. -2016. – т.222. – с.816-822.
7. Adigamov N.S., Rudayev Ya.J. Education of state allowing for loss strength of materials//Journal of Mining Science. – 1999. – vol.35. - №4. – p.353-360.
8. Нелинейные волны, структуры и бифуркации/под ред.
9. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. – М.:ЛЕНАНД, - 2014. – 320с.
10. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. ч.1. – М.:Мир, 1984. – 285с.
11. Райзер В.Д. Теория надежности сооружений. – М.: АСВ, 2010.-384с.
12. Хайтун С.Д. Механика и необратимость. – М.: Янус, 1996. – 448с.
13. Качанов Л.М. О времени разрушения в условиях ползучести.//Изв. АН СССР. -ОТН. - 1958. -№ 8.
14. Работнов Ю.Н. О разрушении вследствие ползучести. //ПМТД. -1963. -№ 2