DOI: 10.38054/iaeee-202214 *2/2022(14)*

УДК 699.841

ЖЕРГИЛИКТҮҮ МАТЕРИАЛДАРДАН КУРУЛГАН АЗ КАБАТУУ ҮЙЛӨРДҮ ТАКАЛАНУУ ЖАНА БУЗУЛУНУУ ПРОЦЕССТЕРИН МОДЕЛДЕШТИРҮҮ

Абдыкалыков А.А., Маматов Ж.Ы., Кожобаев Ж.Ш., Маматов С.К.

Кыргыз Республикасы, Н. Исанов атындагы Кыргыз мамлекеттик курулуш, транспорт жана архитектура университети, janybek@mail.ru; cakshylyk@gmail.com; samagan199l@mail.ru;

Кыскача мазмуну. *Бул макалада ички параметрлерди киргизүү менен синергетика позициясынын алкагында курулуш конструкцияларынын бузулунуу процесстерин моделдөө маселеси каралат. Киргизилген ички параметрлер курулуш объектилеринин коопсуздугуна, бузулбастыгына, бүтүндүгүнө, эксплуатациялоонун бардык мезгилинде, ошондой эле долбоордон тышкаркы күтүлбөгөн терс таасирлер болгон учурда сапаттык жана сандык жактан баалоого мүмкүндүк берет.*

ПРОЦЕСС РАЗРУШЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ ПОСТРОЕННЫХ ИЗ МЕСТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Абдыкалыков А.А., Маматов Ж.Ы., Кожобаев Ж.Ш., Маматов С.К.

Кыргызская Республика, Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова janybek@mail.ru; cakshylyk@gmail.com; samagan199l@mail.ru;

Аннотация. *В данной статье рассматривается проблема моделирования процессов повреждаемости строительных конструкций с позиций синергетики, с ведением внутренних параметров. Введенные внутренние параметры позволяют качественно и количественно оценить безопасность, целостность и неразрушаемость объектов строительства в течение всего срока эксплуатации, в том числе при внезапных непредвиденных запроектных воздействиях.*

DESTRUCTION PROCESS AND DAMAGE MODELING OF LOW-STORY BUILDINGS CONSTRUCTED FROM LOCAL MATERIALS

Abdykalykov A.A., Mamatov Zh.Y., Kojobaev J.Zh., Mamatov S.K.

Kyrgyz Republic, N. Isanov Kyrgyz State University of construction, transport and architecture janybek@mail.ru; cakshylyk@gmail.com; samagan199l@mail.ru

Annotation. *This article discusses the problem of modeling the processes of damage to building structures from the standpoint of synergetics in the introduction of internal parameters. The introduced internal parameters make it possible to qualitatively and quantitatively assess the safety, integrity and indestructibility of construction objects throughout the entire period of operation, including in case of sudden unforeseen beyond design impacts.*

DOI: 10.38054/iaeee-202214 2/2022(14)

Введение. Проблема конструктивной безопасности строительных объектов и их конструкций является приоритетной, так как стремительный рост городов и их урбанизация связаны с увеличением количества техногенных катастроф. Общеизвестно, что постановка и решение задач безопасности строительных конструкций базируются на теории предельных состояний. Исследование процессов конструктивной безопасности в традиционной форме можно считать не отвечающим современным вызовам. Кроме того, отсутствие соответствующих нормативных документов приводит к тому, что разрабатываемые новации можно отнести к запроектным воздействиям [1]. Такие воздействия часто приводят к неожиданным отказам конструкций, что приводит к экономическому ущербу и, как правило, к гибели людей.

Отметим, что сооружение проектируется так, чтобы были обеспечены определенные рабочие параметры. Однако реальная ситуация не позволяет гарантировать полное соответствие строящегося объекта проектным характеристикам и предсказать степень нарушения такого соответствия невозможно, но до определенной степени можно предусмотреть чувствительность конструкции к дефектам как исходного состояния, так и накапливаемым в процессе эксплуатации.

Современное представление о приемлемом риске реальности разрушения объектов строительства при неординарных запроектных воздействиях, учитывая, что большинство строительных материалов относятся к полухрупким (кирпич, бетон и др.), можно привлечь для аналитического моделирования теорию повреждаемости сооружений и ранее разработанный аппарат «теория пластического течения» [2].

Моделирование процессов повреждаемости строительных конструкций с позиций синергетики в нашем случае с введением внутренних параметров не только учитывает формальные представления о связи между напряженным и деформированным состоянием, но и характеризует текущее деформированное состояние материала, в зависимости от истории загружения. Они изменяются вдоль траектории деформирования по определенным законам, и их значение в какой-то момент времени зависит от предыстории деформации до этого времени. Количество внутренних параметров различно для разных моделей и, в принципе, они могут быть скалярными или векторными величинами. Внутренние параметры могут качественно и количественно оценить неразрушаемость, целостность сооружения в течение всего расчетного эксплуатационного промежутка времени, включая внезапные запроектные воздействия.

Таким образом, накопленный уровень знаний в области статики и динамики сооружений позволяет перейти от общих концептуальных положений живучести

DOI: 10.38054/iaeee-202214 *2/2022(14)*

конструкций к моделированию процессов деформирования и разрушения в рамках методов нелинейной динамики [3-5] с обеспечением не только конструктивной безопасности, но и живучести объектов.

Постановка задачи. Следуя [6] и проведенные нами экспериментальные работы на моделях малоэтажных жилых домов из различных строительных материалов показывают, что процесс накопления повреждений и первоначальных несовершенств существенно влияет на несущей способности этих материалов и в целом сейсмостойкости зданий и сооружений (рис.1.) [7-9]. Поэтому, 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 и повреждений (несовершенства) исходного состояния системы и развивающиеся в процессе ее эксплуатации.

Рис. 1. Общий вид модели дома «сокмо» после эксперимента на сейсмоплатформе КГУСТА им. Н. Исанова.

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

DOI: 10.38054/iaeee-202214 2/2022(14)

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

$$\Phi = \Phi\left(F, \eta, \beta\right) \qquad (1)$$

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. Например, под воздействием землетрясения, проседания основания, подъема грунтовых вод и так далее. Аналогичный подход применялся при моделировании деформационного поведения горных пород и бетона с учетом запредельной ветви [6, 10, 11].

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 соответствие с классификацией пространственно-временных диссипативных структур [12] 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 [2, 4, 13], 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 [14].

Динамическая модель. При формулировке модели градацию процесса эксплуатации будем рассматривать как дискретную Марковскую процедуру [15], в соответствие которой последующие воздействия обусловлены лишь предыдущими событиями и не зависят от предшествующей истории нагружения.

Другими словами, потенциальную функцию (1) представим, как суперпозицию потенциала $\Phi_{\rho}\left(F, \eta\right)$, ответственного за предшествующие состояния, и возмущения $S\left(F, \eta, \beta\right)$, учитывающего накопившиеся повреждения (несовершенства) текущего состояния имеем, в форме

DOI: 10.38054/iaeee-202214 2/2022(14)

$$\Phi(F,\eta,\beta)=\Phi_{\rho}(F,\eta)+S(\eta,\beta). \qquad (2)$$

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

$$\Phi_{\rho}(F,\eta)=\Phi_0+\Phi_{1\eta}+\frac{1}{2}\Phi_2\eta^2+\frac{1}{3!}\Phi_3\eta^3+... \qquad (3)$$

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

$$\frac{d\Phi_{\rho}(F,\eta)}{d\eta}=\Phi_1+\Phi_2\eta+\frac{1}{2}\Phi_3\eta^2+...=0 \qquad (4)$$

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

Если предположить, что нагрузка F приближается к расчетной или критической $(F\to F_C)$, то потенциальная функция $\Phi=\Phi(F,\eta)$ запишется в виде

$$\Phi_{\rho}(F,\eta)=\frac{1}{2}(F_c-F)\eta^2+\frac{1}{3}\eta^3+... \qquad (5)$$

В выражении (5) произведена смена масштабов по осям F и η. Общим недостатком представления моделируемых параметров в размерном виде является то, что численные величины и соотношения между ними изменяются в зависимости от принятой системы единиц - СИ, метрической или какой-нибудь иной. Поэтому для удобства анализа они переключаются с размерных параметров на безразмерные.

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

Критические точки, соответствующие (5) определяются обычным способом их соотношения

$$\frac{d\Phi_{\rho}}{d\eta}=\eta\left[(F_c-F)+\eta\right]=0. \qquad (6)$$

Решение уравнения (5) дает два корня

$$\eta_1=0;\quad \eta_2=F-F_c \qquad (7)$$

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 [14]. Имеем

DOI: 10.38054/iaeee-202214 2/2022(14)

$$S(\eta,\beta)=\beta_1\eta+\frac{1}{2}\beta_2\eta^2+\frac{1}{3}\beta_3\eta^3+\ldots \tag{8}$$

Формула (8), как ясно из [14], может быть представлена в канонической форме [3] 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 [14], отбросим в (8) все члены, кроме линейного.

Тогда потенциальная функция $\Phi(F,\eta,\beta)$ (2), моделирующая несовершенную систему, запишется так

$$\Phi(F,\eta,\beta)=\beta_1\eta+\frac{1}{2}(F_c-F)\eta^2+\frac{1}{3}\eta^3. \tag{9}$$

Критические точки отвечают равновесному состоянию и определяются условием

$$\frac{d\Phi}{d\eta}=\beta_1+(F_c-F)\eta+\eta^2=0. \tag{10}$$

Уравнение (10) с точки зрений 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 $\beta_1=const$.

Отметим, что поведение несовершенной системы зависит от знака параметра несовершенства $\beta=\beta_1$. Из решения уравнения (10)

$$\eta_{1,2}=-\frac{F_c-F}{2}\pm\sqrt{\left(\frac{F_c-F}{2}\right)^2-\beta} \tag{11}$$

видно, что при $\beta\prec 0$ существуют две критические точки, а при $\beta\succ 0$ имеется область, в которой функция (9) вообще не имеет критических точек. Последнее имеет место при выполнении условия

$$\left(\frac{F_c-F}{2}\right)^2-\beta\prec 0. \tag{12}$$

Обсуждение результатов:

1. Условие $\beta\le 0$ означает существование локально устойчивого равновесия при всех значениях внешнего воздействия и даже для сейсмических сил. Следовательно, это приводит к установлению определенного критерия, характеризующего безопасность эксплуатации объекта строительства. Например, система считается

DOI: 10.38054/iaeee-202214 2/2022(14)

безопасной, если при критическом нагружении F_c переменные состояния (параметр порядка) превышают некоторое предписанное безопасное значение $k : |\eta| \succ k$.

2. При $\beta = \beta_1 \succ 0$ 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 $\beta_1, \beta_2, ...,$ а сильно – от $\beta_1 = \beta$. Поэтому принятое выше решение об исключении всех возмущений, кроме линейного (9), можно считать объективным.

3. Для несовершенных объектов, описываемым потенциальной функцией (9), при достижении внешних воздействий критического показателя F_c естественно предположить появление динамических флуктуаций, существенно снижающих несущую способность. Например, сейсмическое воздействие может привести при $F = F_c$ к переходу системы через потенциальный барьер. По существу динамические воздействия могут привести устойчивый случай $\beta \prec 0$ к потере устойчивости или неустойчивости. Эти переходы из устойчивого состояния в неустойчивое при динамических (в частности сейсмических сил) воздействиях сопровождаются возникновением *запроектных решений* [1, 2] в форме появления «странных аттракторов» [16]. Последнее требует отдельного рассмотрения. Ключевые понятия теории синергетики - названная выше нелинейность, точка бифуркации, аттрактор, диссипативные процессы и фракталы. Точка бифуркации - это момент неустойчивости, когда система выбирает дальнейший путь эволюции, точка, в которой происходит катастрофа (термином "катастрофа" в теории самоорганизации называют качественные скачкообразные изменения, возникающие при плавном изменении внешних условий). Вблизи этой точки возрастает роль незначительных случайных возмущений - флуктуаций (временных отклонений от состояния равновесия), за счет чего может произойти переход системы от области притяжения одного аттрактора к другому (произойдет катастрофа). После того, как система вошла в область притяжения нового аттрактора, в ней начинаются процессы адаптации к нему, что сопровождается возникновением новых процессов и явлений.

Выводы. 1. Показано, что живучесть инженерных сооружений может быть смоделирована потенциальной функцией, зависящей от силовой составляющей F. Текущее состояние объекта связано с критическими точками потенциальной функции. При этом устойчивость состояния определяется с привлечением морсовской характеристики потенциала в критической точке, а критическая нагрузка, которую может выдержать сооружение, - вырождением критических точек. Следовательно,

DOI: 10.38054/iaeee-202214 *2/2022(14)*

изучение статического поведения объекта, находящегося под нагрузкой, и его чувствительность к несовершенству тесно связано с теорией катастроф.

2. Выбор вида потенциальной функции обусловлен, как показано выше, с соображениями физического характера. позволяет универсализтировать возмущающую составляющую потенциальной функции, использованной для определения чувствительности критической нагрузки к несовершенствам любых типов.

3. Заметим, что в настоящем исследовании речь идет об объектах, принимаемых как единое целое. При рассмотрении сооружения как дискретного (составного) объекта необходимо принимать чувствительность к несовершенствам более жесткой, особенно при динамических воздействиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ***Клюева 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. ***Маматов Ж. Ы., Ненахова И.В., Рудаев Я.И.*** *О моделировании повреждаемости строительных объектов./ Вестник МАЭСС №1/2018(2), -Бишкек, 2018, -стр. 91-96..*
3. ***Малинецкий Г.Г.*** *Математические основы синергетики – М.:КомКнига, 2005.-312с.*
4. ***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.*
5. ***Рудаев Я.И.*** *Элементы нелинейной динамики в механике материалов и конструкций//Вестник КРСУ. – 2017.т.17.№1.с.42-51.*
6. ***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.*
7. ***Маматов Ж.Ы., Сыдыков Ы. К., Маматов С. К., Кубанычбек у. Б.*** *Жергиликтүү материалдар менен салынган колдонуудагы үйлөрдү жер титирөөгө каршы бекемдөөнүн жана жылуулоонун ыкмалары/ Вестник КГУСТА им. Н. Исанова № 3 (69) 2020, -Бишкек, 2020г., стр. 441-447.*
8. ***Маматов Ж.Ы.*** *Коопсуз үйлөрдү тургузуу жана тургузулган үйлөрдү бекемдөөнүн ыкмалары./ Учебное пособие.// - Бишкек, Полиграфбум-ресурсы, МОиН КР 2017, -164с.*
9. ***Маматов Ж.Ы., Адамалиева А., Имилидин у А., Дуйшенбеков А.Д.*** *Причины повреждений и разрушений малоэтажных зданий./Наука и инновационные технологии МУИТ №1/2020(14), -Бишкек, -стр. 133-148.*
10. ***Рудаев Я.И., Китаева Д.А., Мамадалиева М.А.*** *Моделирование деформационного поведения горных пород//Записки горного института. -2016. – т.222. – с.816-822.*
11. **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.*
12. ***Гапонов-Грехов А.В., Рабинович М.И.*** *Нелинейные волны, структуры и бифуркации - М., Наука, 1987, -400с..*
13. ***Хакен Г.*** *Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. – М.:ЛЕНАНД, - 2014. – 320с.*
14. ***Гилмор Р.*** *Прикладная теория катастроф. ч.I. – М.: Мир, 1984. – 285с.*
15. ***Райзер В.Д.*** *Теория надежности сооружений. – М.: АСВ, 2010.-384с.*
16. ***Хайтун С.Д.*** *Механика и необратимость. – М.: Янус, 1996. – 448с.*