Рудаев Я.И., Сеитов Б.М., Ордобаев Б.С.

ТОЛУК ДИАГРАММАНЫН КЫСЫЛГАН БЕТОНДУН ӨЗГӨРҮЛҮШҮНҮН ЖАНА УРАШЫНЫН МАТЕМАТИКАЛЫК КАТАСТРОФАЛЫК ТЕОРИЯСЫ

Рудаев Я.И., Сеитов Б.М., Ордобаев Б.С.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ КАТАСТРОФ В ОЦЕНКЕ ПОЛНОЙ ДИАГРАММЫ СЖАТОГО БЕТОНА В ПРОЦЕССЕ ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ С УЧЕТОМ НАКОПЛЕНИЯ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ

Ya.I. Rudaev, M.B. Seitov, B.S. Ordobaev

MATHEMATICAL CATASTROPHE THEORY IN THE EVALUATION OF THE COMPLETE DIAGRAM OF THE COMPRESSED CONCRETE IN THE PROCESS OF DEFORMATION AND FRACTURE TAKING INTO ACCOUNT THE ACCUMULATION OF DAMAGE

УДК: 624

Кысылууда бетондун формасынын бузулуш модели жасалган. Модел жасоо үчүн математикалык катастрофа теория ыкмасы колдонулган.

Негизги сөздөр: *бетон, бетондун формасынын бузулуш модели, математикалык катастрофа теориясы, бузулуу көрсөткүчү.*

Моделирование деформационного поведения бетона при сжатии. Для построения модели привлечены методы математической теории катастроф.

Ключевые слова: *бетон, моделирование деформационного поведения бетона, математическая теория катастроф, параметр повреждаемости.*

Modelling of deformation behavior of concrete in compression. To build the model involved methods of mathematical theory of catastrophes.

Key words: *concrete, modeling of deformation behavior of concrete, mathematical theory of catastrophes, the parameter of damage.*

Бетон относится к сложным материалам, состоящим из частиц крупного и мелкого заполнителей, соединенных между собой цементным камнем, образуемым путем взаимодействия цемента и воды в результате химической реакции гидратации. Химические процессы продолжаются в цементном камне практически всю жизнь бетона. Важным фактором в бетоне является вода, содержание которой в зависимости от влажности окружающей среды изменяется.

С позиций механики материалов бетон представляет собой начально-неоднородную среду, на напряженно деформированное состояние которой сильнейшие влияние оказывает вся предыдущая история – условия твердения, нагружения, эксплуатации. Исчерпывающей строго обоснованной механической теории бетона до сих пор не создано, хотя такие попытки имеют место, как показано в [1-3]. При этом следует оговориться, что использование методов линейной механики разрушения применительно к бетону нельзя считать вполне оправданным. Такой подход игнорирует историю процесса, предшествующую наступлению разрушения. Привлечение моделей нелинейной механики разрушения связано с анализом «псевдопластических» деформаций в устье основной трещины и развитием второстепенных микротрещин.

Перечисленные методы основаны на ряде гипотез, главным недостатком которых можно считать неучет структурной изменчивости бетона при нагружении, хотя развитие таких процессов вполне очевидно.

На основании сравнительного анализа диаграмм сжатия бетона [4-6] и горных пород [7] установлена идентичность их деформационного поведения. Главное сходство состоит в наличии запредельной области, для которой характерно снижение напряжений с ростом деформаций после достижении предела прочности. Здесь кроется определенный резерв прочности бетона, который можно учесть при расчете сжимаемых и несжимаемых бетонных и железобетонных элементов строительных конструкций. Расхождение между данными опытов состоит в отсутствии на диаграммах «напряжение-деформация» бетонов характерного линейного участка, соответствующего упругой стадии деформирования. Кроме того, обнаружено, что горные породы при напряжении, близком к временному сопротивлению, становятся несжимаемыми [8]. Для бетона подобное не установлено.

Из сказанного можно сделать вывод – определяющие соотношения, полученные при моделировании деформации горных пород [8], могут быть привлечены для описания закономерностей поведения полухрупких тел типа бетона с учетом качественных изменений повреждаемости в процессе деформации и разрушения.

Основная идея заключается в обоснованном использовании математического аппарата теории катастроф [9], причем деформирование рассматривается как размытый структурный переход [10] от упругой стадии до разрушения, а повреждаемость отождествляется со степенью полноты фазового перехода и определяется методами статистической механики [12].

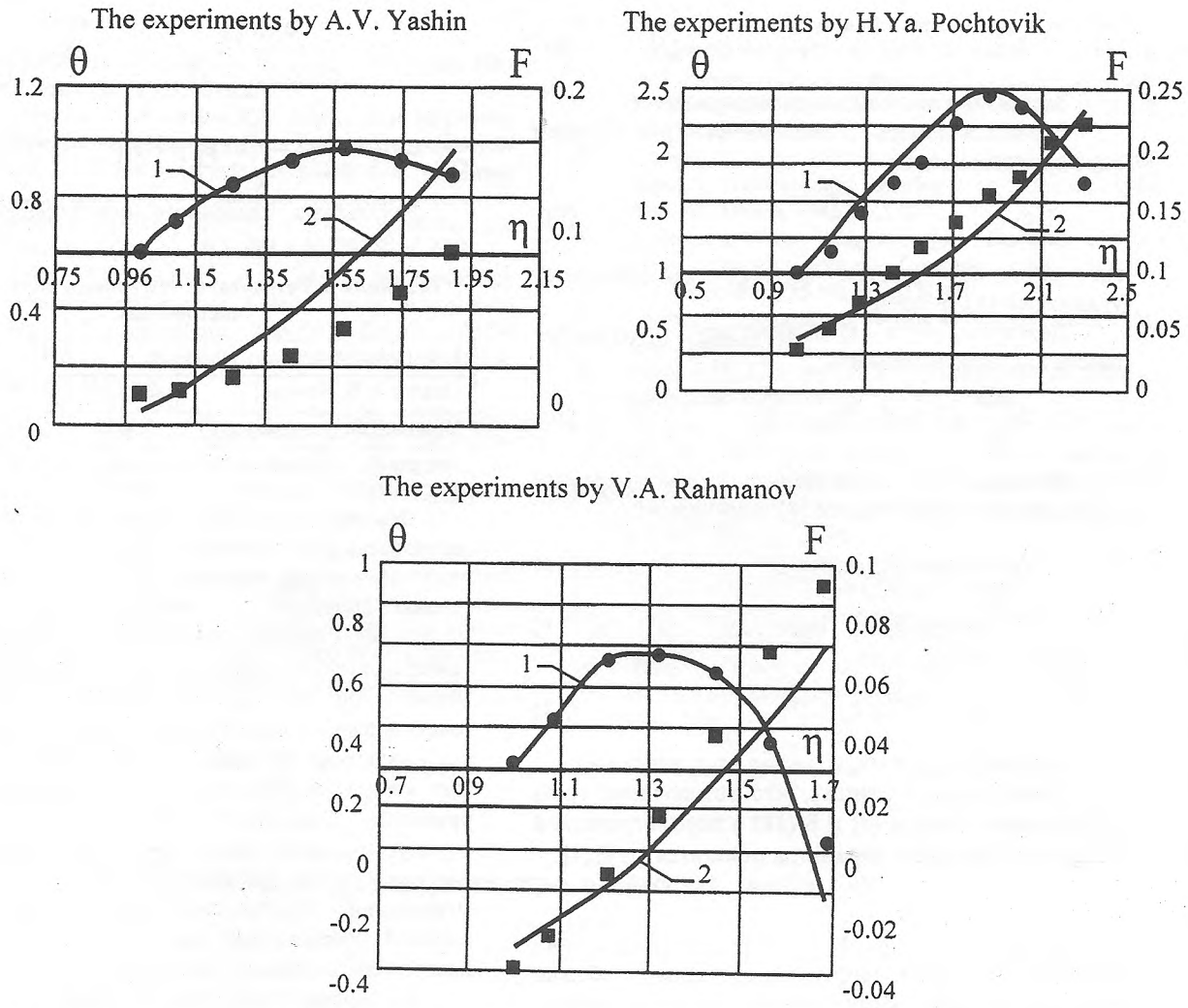

Рис. 1. Сопоставление теоретических и опытных данных: 1) зависимости между приведенными напряжениями (F) и деформациями (η); 2) зависимости между приведенными изменениями объема (ϑ) и деформациями (η).

Заключение

В заключение укажем, что предложенная модель включает уравнение состояния (1), уравнение, определяющее вид функции управляющего параметра (11), и выражение для относительного изменения объема (14).

Отметим также, что прием, использованный при формулировке модели, можно считать синергетическим [14]. Это относится к задачам построения физически обоснованных нелинейных определяющих соотношений для сред, в деформационном поведении которых наблюдается иерархия структурных состояний. Последнее имеет место при деформации бетона.

Таким образом, в работе рассмотрена задача формулировки модели, пригодной для описания при осевом сжатии полной диаграммы деформирования материалов, в которых к упругой и пластической деформации добавляется компонента разрыхления. К указанным материалам относятся, в частности, начально неоднородные среды типа горных пород и искусственные строительные материалы, например бетон. Такие материалы, находящиеся в стационарном состоянии, устойчивом относительно малых возмущений, за пределом упругости могут быть интерпретированы как диссипативные структуры. Процесс деформации и разрушения их анализируется как иерархия неустойчивостей, обусловленных самоорганизацией. Для построения модели привлечены методы математической теории катастроф. Энергетическая функция состояния представлена в виде суммы потенциальной функции, ответственной за обратимые деформации, и возмущения. В последнее введен параметр несовершенства (управляющий параметр), связываемый с повреждаемостью. На параметр несовершенства возложена ответственность за процесс структурообразования. Уравнение состояния получено минимизацией энергетической функции по параметру порядка и дополнено кинетическим уравнением для параметра несовершенства. Показана перспективность привлечения методов синергетики к задачам формулировки физически обоснованных нелинейных определяющих соотношений.

Литература:

1. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей.- М.: Высш. шк., 1991,- 288 с.
2. Zaytsev, Yu.V., Wittmann, F.H. Primeneniye nelineynoy mekhaniki razrusheniya dlya issledovaniya svoystv betona: istoricheskiy aspekt [Application of non-linear fracture mechanics to investigate properties of concrete: historical aspect] (2013) Vestnik grazhdanskikh inzhenerov, 3 (38), pp. 55-62. (rus)
3. Melnikov, B.E., Semenov, A.S. Creation and application of hierarchical sequence of material models for numerical analysis of elasto-plastic structures (1996) ZAMM Zeitschrift fur Angewandte Mathematik und Mechanik, 76 (2), pp. 615-616.
4. Яшин А.В. Прочность и деформации бетона при различных скоростях загружения./Воздействие статических, динамических и многократно повторяющихся нагрузок на бетон и элементы железобетонных конструкции. - М.: Стройиздат, 1972. - С. 23-39.
5. Почтовик Г.Я., Красновский Р.О. Применение ультразвукового импульсного метода для оценки структурно-механических характеристик бетонных и железобетонных конструкций при загружении // Методика лабораторных исследований деформаций и прочности бетона. - М.: Госстройиздат, 1962. - С.267-278.
6. Рахманов В.А. Прочность бетона при действии внецентренного динамического нагружения./ Длительные деформативные процессы в бетонных и железобетонных конструкциях - М.: Стройиздат, 1970 - С. 55-65.
7. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах - М.: Недра, 1985. – С. 271.
8. Adigamov, N.S., Rudayev, Ya.I. Equation of state allowing for loss strength of material (1999) Journal of Mining Science, 35 (4), pp. 353-360.
9. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. Кн. I. – М.: Мир, 1984. – 350 с.
10. Ролов Б.Н., Юркевич В.Э. Физика размытых фазовых переходов. – Ростов: РГУ, 1983. – 320с.
11. Dovgan, V.I., Kitaeva, D.A., Rudaev, Ya.I. About structure formation self-organization at loading of quasibrittle materials (2005) Proceedings of the XXXIII Summer School "Advanced Problems in Mechanics" (APM-2005), pp. 61-66.
12. Балеску Р. Равновесная и неравновесная статистическая механика. Т.2.-М.: Мир, 1978.-400с.
13. Работнов Ю.М. О разрушении вследствие ползучести / / ПМТФ, 1963.-№2 . -С. 113-123.
14. Хакен Г. Синергетика: иерархия неустойчивости в самоорганизующихся системах и устройствах. - М.: Мир, 1984. – 350 с.

Рецензент: доктор архитектуры, профессор Смирнов Ю.И.