

ПРОЧНОСТНЫЕ И ДЕФОРМАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНА ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Наведено загальні результати визначення властивостей бетону методами неруйнующого та руйнующого контролю. Виділено основні типи бетону, що відрізняється динамікою руйнування. Встановлено характер розподілу значень показників властивостей бетону.

PROPERTIES OF STRENGTH AND DEFORMATION OF CONCRETE OF A WATERPROOF LAYER OF A HYDRAULIC STRUCTURES

The general results of definition of properties of concrete by methods of the not destroying and destroying control are given. The basic types of concrete are allocated which differ by dynamics of destruction. The character of distribution of values of parameters of properties of concrete is determined.

Гидротехнические сооружения являются ответственными объектами, существенное ухудшение технического состояния которых может привести к аварийным последствиям. Важное значение для обеспечения длительной безопасной эксплуатации таких объектов имеет состояние ее противофильтрационного покрытия. За время срока службы сооружения бетон покрытия подвергается волновым нагрузкам, солнечной и ветровой эрозии, температурным перепадам, воздействию вредных примесей в атмосфере. За счет влияния указанных факторов его первоначальные свойства постепенно ухудшаются.

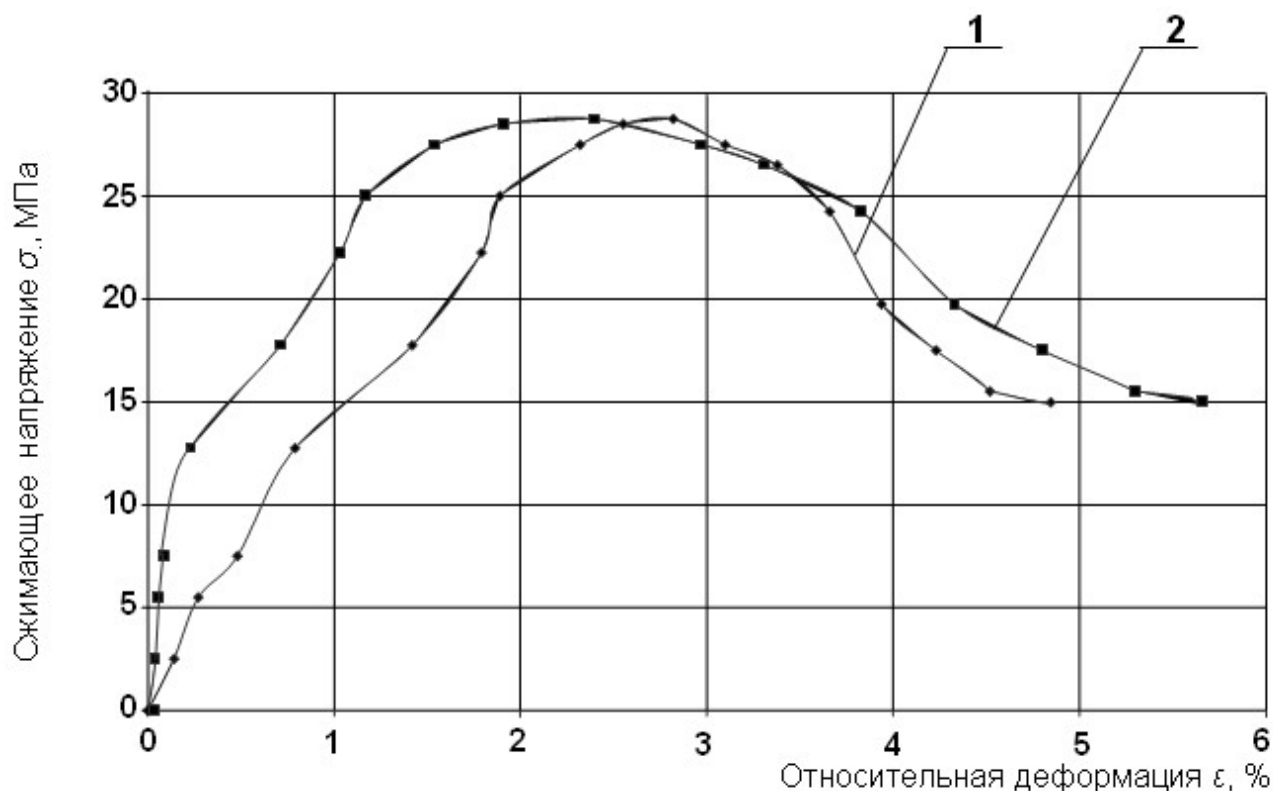
Для обеспечения возможности прогнозирования состояния покрытия при его дальнейшей эксплуатации выполняется комплексное определение физико-механических свойств бетона.

Неразрушающие испытания бетона включают определение плотности по ГОСТ 12.730.1-2002 [1], а также определение скоростей упругих волн в соответствии с ГОСТ 17 624-87[2]. Для измерения времени прохождения сквозь бетонный образец продольной и поперечной волн использовалась серийная ультразвуковая аппаратура УК-10ПМ. На основе полученных результатов расчетным путем определялись следующие динамические параметры: коэффициент Пуассона ν_{δ} , модуль Юнга E_{δ} , модуль сдвига G_{δ} , коэффициент объемного сжатия K_{δ} .

Определение прочностных и деформационных характеристик бетона производилось с учетом ГОСТ 10180-2003 [3] на жесткой испытательной установке, выполненной на базе прессы П500. Режим нагружения – равномерная продольная деформация, как до предела прочности, так и на запредельном участке. Скорость нагружения – порядка 30 - 50 мк в минуту. Первичными параметрами, регистрируемыми в цифровой форме, являются: текущее усилие нагружения P , абсолютная продольная деформация Δh , абсолютная поперечная деформация Δb . Промежуточным этапом является автоматическое построение диаграмм продольного и поперечного деформирования образца в относительных единицах: $\varepsilon_{np.} = \varepsilon(\sigma)$ и $\varepsilon_{non.} = \varepsilon(\sigma)$. В процессе обработки диаграмм определяются следующие характеристики бетона: предел упругости σ_y , предел прочности на од-

носное сжатие $\sigma_{сж.}$, остаточная прочность бетона $\sigma_{ост.}$, статический коэффициент Пуассона $\nu_{ст.}$, статический модуль Юнга E_{σ} , статический модуль сдвига $G_{ст.}$, модуль деформации D , модуль спада M , критическая относительная продольная деформация $\varepsilon_{пр. кр.}$. [4, 5].

В процессе испытаний бетона было выявлено три характерных типа деформирования. Диаграммы разрушения бетона, представленные на рис. 1, являются наиболее характерными (тип. 1).



1 – продольная деформация, 2 – поперечная деформация

Рис. 1 – Диаграммы деформирования первого типа

К особенностям разрушения бетонных образцов по первому типу следует отнести:

- плавный характер диаграмм деформирования в продольном и поперечном направлениях как до предела прочности на одноосное сжатие, так и на участке запредельного деформирования;
- наличие упругой области, не превышающей 30 % от достижения разрушающего напряжения;
- синхронность изменения характера деформирования, как в продольном, так и в поперечном направлениях;
- значительное увеличение скорости поперечной деформации перед достижением предела прочности на одноосное сжатие.

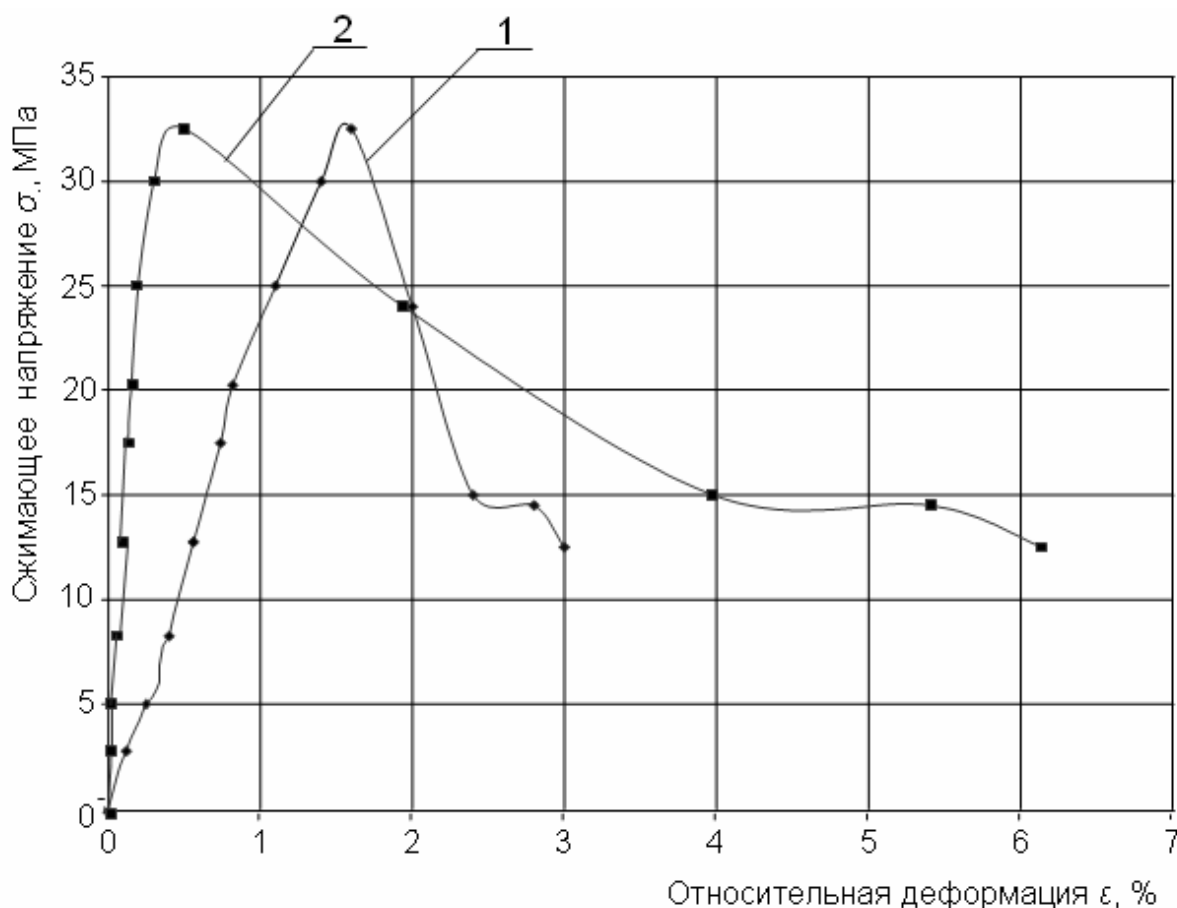
Для указанного типа разрушения характерно высокое значение относительной критической продольной деформации. Большими являются также и поперечные деформации, хотя динамика их роста на стадии развития трещинообразования

имеет характер случайного процесса. Данное обстоятельство связано с тем, что формирование трещин отрыва по контуру образца происходит по наиболее ослабленным участкам образца, расположение которых является случайным.

На запредельном участке деформирования происходит плавное увеличение скорости деформирования в продольном и поперечном направлениях при снижении напряжения в поперечном сечении образца. Величина модуля спада меньше величины модуля упругости. Выполаживание кривой в направлении остаточной прочности также происходит плавно и в определенной степени затрудняет определение данного параметра.

Для указанного выше типа деформирования основные процессы разрушения происходят в связующей компоненте с сохранением целостности значительной части включений наполнителя. Это подтверждает анализ остатков образцов после их разрушения.

На рис. 2 показан другой тип деформирования (тип 2), характерный для бетона с высокой концентрацией заполнителя, но при малых размерах отдельных включений.



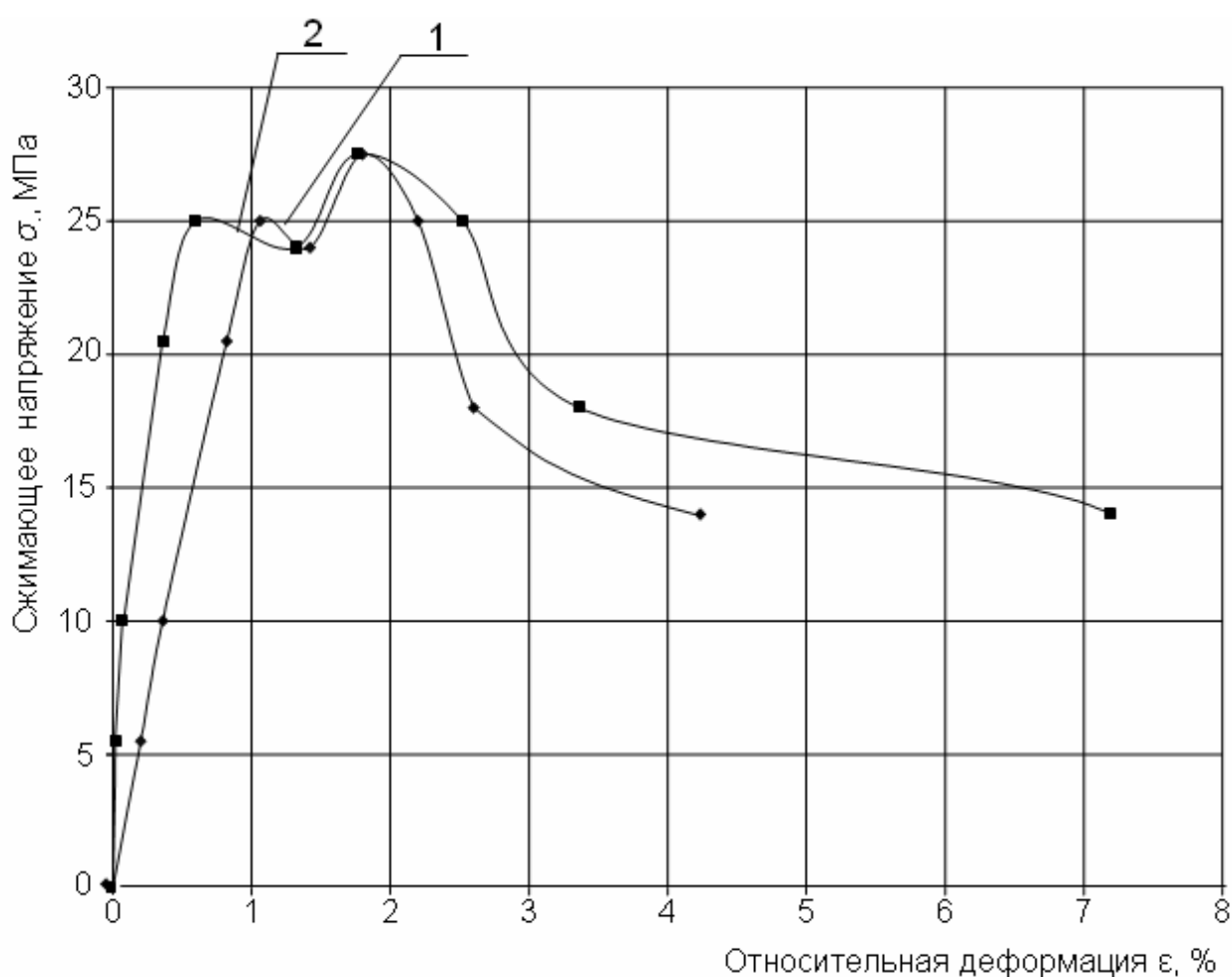
1 – продольная деформация, 2 – поперечная деформация
Рис. 2 – Диаграммы деформирования второго типа

Характерными особенностями второго типа разрушения бетонных образцов являются:

- упругий характер деформирования почти до предела прочности;
- небольшая величина критической относительной продольной деформации;
- большое значение модуля спада, которое может превышать значение модуля Юнга.

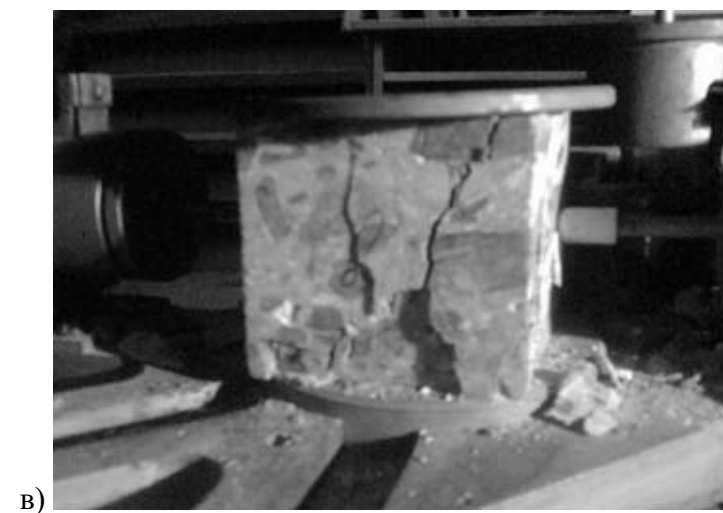
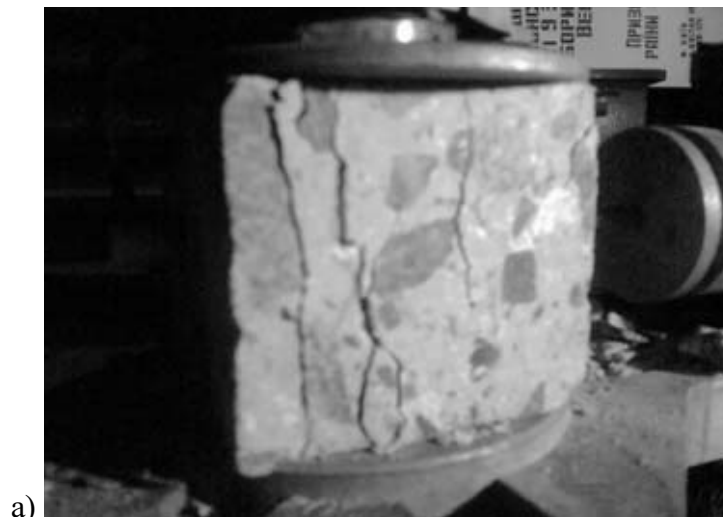
При хрупком характере разрушения образцы бетона, как правило, не сохраняют подобие формы и разделяются на множество мелких фрагментов. Процесс разрушения может происходить в течение короткого времени.

При наличии включений наполнителя, размер которых соизмерим с размерами образца, диаграмма деформирования может иметь вид, представленный на рис. 3. Наличие первого максимума связано с разрушением связующего, а второй максимум характеризует уже разрушение включения. Помимо двухвершинной диаграммы деформирования характерной особенностью является высокая остаточная прочность.



1 – продольная деформация, 2 – поперечная деформация
Рис. 3 – Диаграммы деформирования третьего типа

Для первого типа деформирования характерно постепенное образование системы параллельных трещин при разрушении образца, что иллюстрируется рис. 4а. Образец при этом в основном сохраняет первоначальную форму при плавном снятии нагрузки.



а) – пластическое; б) – хрупкое; в) – деление на блоки
Рис. 4 – Основные варианты разрушения образцов бетона

Второй тип деформирования характеризуется разрушением образца на множество мелких фрагментов. Этот процесс может протекать в динамической форме, сопровождаясь звуковыми эффектами, а также, как показали специаль-

ные исследования, интенсивным электромагнитным излучением. Внешний вид образцов бетона, которые разрушаются по второму типу деформирования, представлен на рис. 4б.

Для третьего типа деформирования характерно разделение образца на два или несколько крупных фрагментов (рис. 4в). Один из них может быть целиком представлен жестким включением и принимает на себя основную часть нагрузки при дальнейшем процессе разрушения.

В пределах упругой области деформирования по построенным диаграммам деформирования были определены статические упругие модули. Для однородных материалов статический модуль Юнга, как правило, несколько ниже динамического. Для бетона данный показатель оказался ниже в несколько раз. Данное парадоксальное соотношение модулей можно объяснить, рассматривая бетон как двухкомпонентную среду с резко отличающимися упругими свойствами. Наполнитель является более жестким материалом с более высокой скоростью распространения упругих волн. Упругая волна, распространяясь в образце бетона по кратчайшему пути, значительную часть проходит по материалу с высокой жесткостью, что находит отражение в вычисленных динамических характеристиках. В то же время при медленном нагружении образца его деформации, как в продольном, так и в поперечном направлении происходят в основном в связующей компоненте, которая характеризуется меньшей жесткостью.

Каждый из типов деформирования отличается различным соотношением параметров, характеризующих прямую и ниспадающую ветви диаграмм деформирования. Критерии для определения отнесения образцов бетона к той или иной категории приведены в табл. 1.

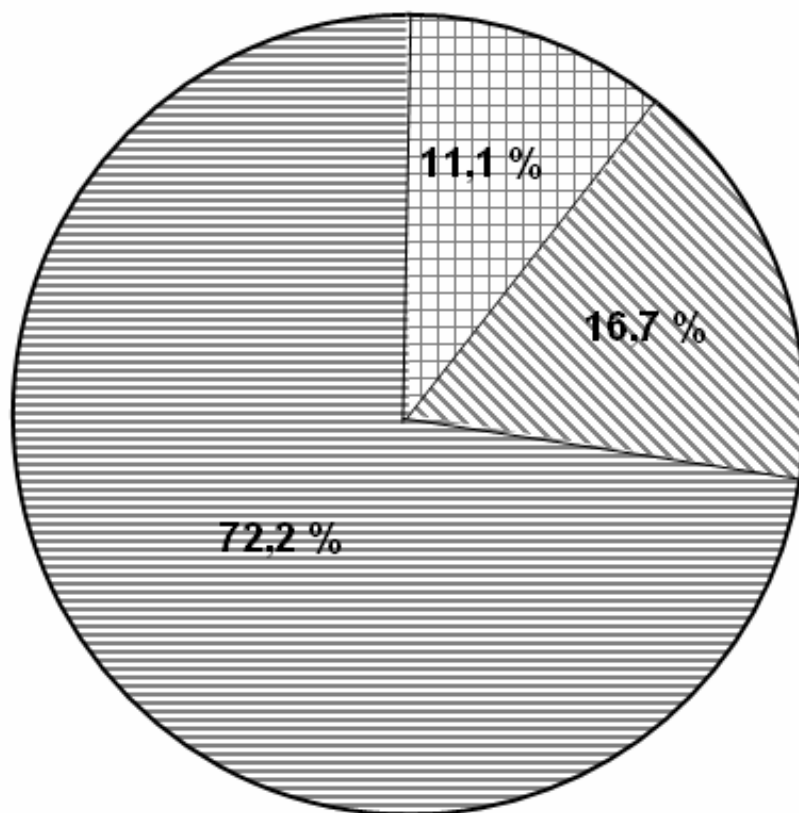
Таблица 1 – Критерии для определения типа деформирования образцов бетона

Тип деформирования	Величина соотношения			Вид диаграмм деформирования
	$E_{ст.}/D$	$M/E_{ст.}$	$\sigma_{ост.}/\sigma_{сж.}$	
упруго-пластическое	< 1	< 1	< 0,5	с плавным изменением скорости деформации и одним максимумом
с хрупким разрушением	0,75 – 1	> 1	< 0,4	с одним, резко выраженным максимумом
с разрушением наполнителя	0,4 – 0,75	< 1	$\geq 0,5$	с двумя и более максимумами

Долевое распределение образцов бетона с различными типами деформирования иллюстрируется круговой диаграммой, представленной на рис. 5.

Прочностные и деформационные характеристики в отдельности отражают разные стороны процесса разрушения бетона [6]. Интегральной характеристикой, в значительной мере определяющей долговечность бетона при длительном воздействии совокупности, как статических, так и динамических нагрузок, является удельная энергия разрушения [7]. В соответствии с гипотезой, данной в работе [8], данная величина необратимо уменьшается при каждом цикле неупругого деформирования и обладает аддитивным свойством. Иными словами,

бетон можно разрушить как одновременно приложенной нагрузкой, достигающей критического значения, так и длительным циклическим воздействием нагрузок, каждая из которых сама по себе не является критической, но выходит за пределы упругого участка. В реальных условиях эксплуатации бетонного покрытия циклические нагрузки связаны с процессами замораживания и размораживания воды в открытых трещинах, а также вследствие температурных деформаций.



Условные обозначения:



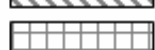
-  - упруго-пластическое деформирование;
-  - с разрушением наполнителя;
-  - с хрупким разрушением.

Рис. 5 – Распределение образцов бетона с различными типами деформирования в испытанной совокупности

Статистическая обработка массивов данных позволила установить, что функция распределения отличается от нормальной. В работе [9] показана возможность применения для описания прочностных свойств бетона распределения Вейбулла. Нами установлена применимость такого распределения и для других показателей свойств бетона. В качестве иллюстрации на рис. 6 приведены гистограммы и теоретические распределения показателя прочности на одноосное сжатие (6а), а также статического коэффициента Пуассона (6б).

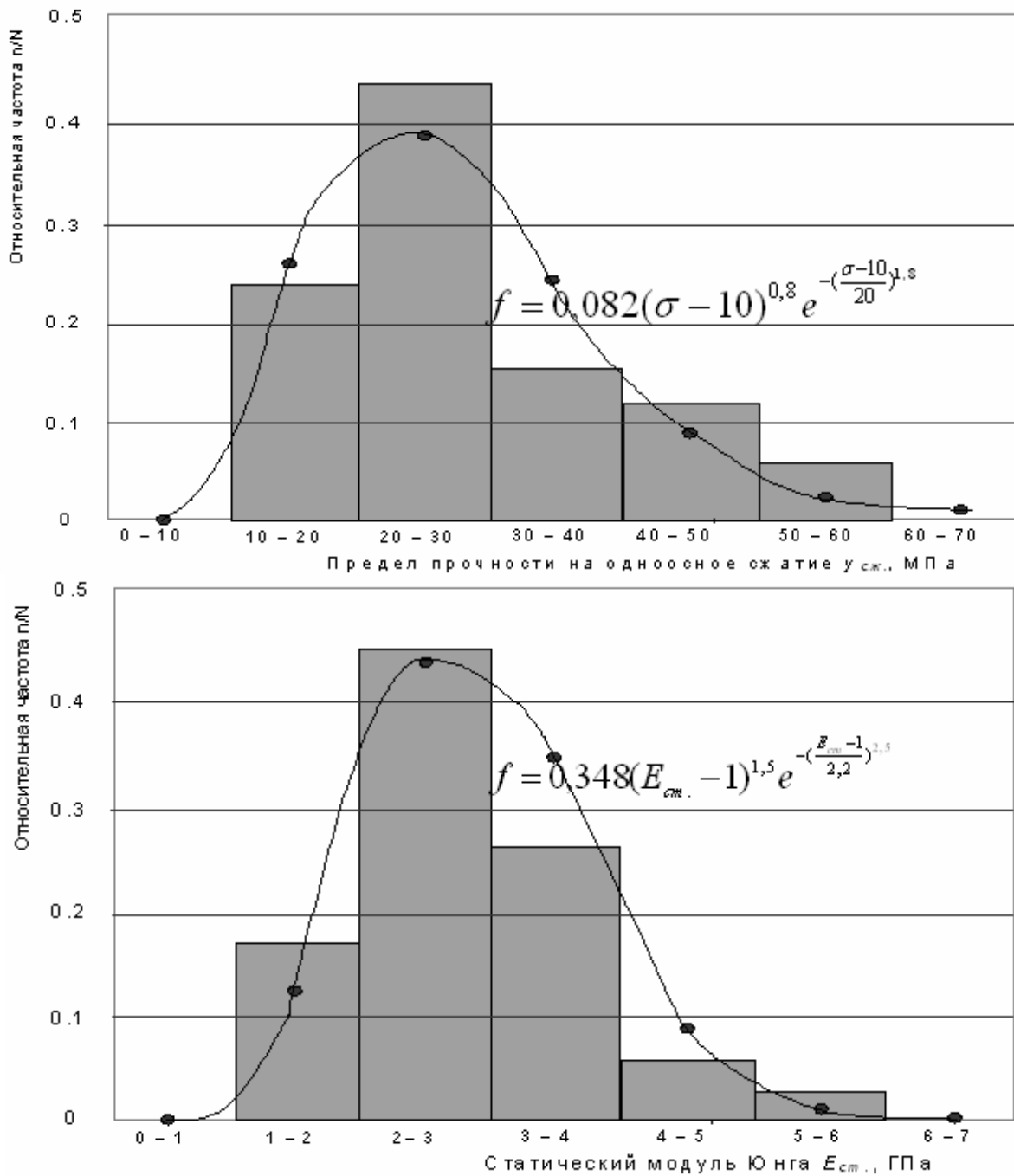


Рис. 6 – Экспериментальные и теоретические распределения показателей свойств бетона

Установлено наличие корреляционной зависимости между плотностью бетона и прочностью на одноосное сжатие. Указанная зависимость в первом приближении может быть описана линейной функцией.

$$\sigma_{сж.} = 16,2 + 0,008 \rho$$

Поле рассеяния коррелирующих параметров и корреляционная зависимость представлены на рис. 7.

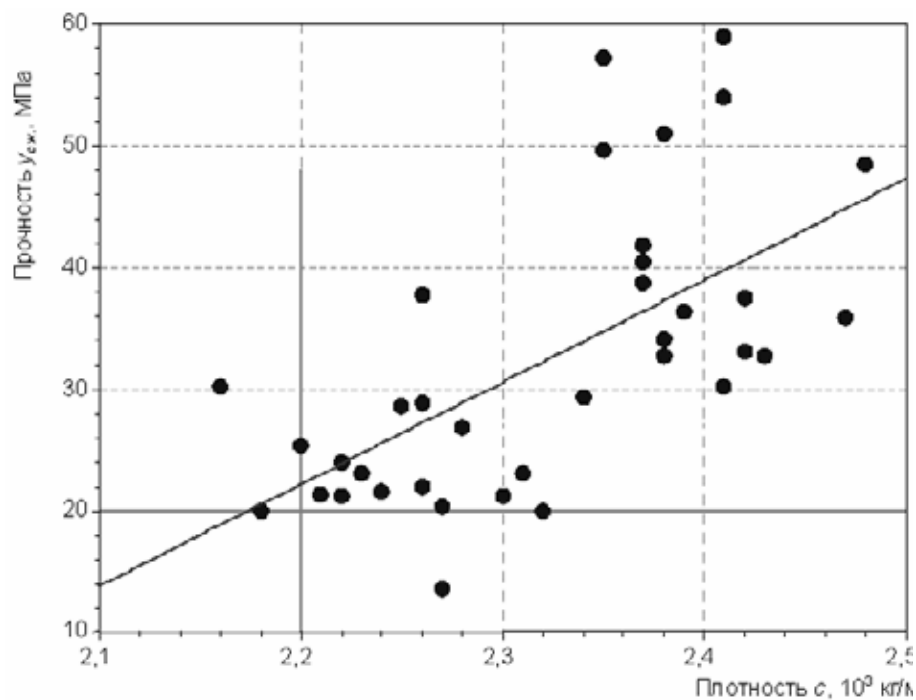


Рис. 7 – Корреляционная зависимость между плотностью бетона и прочностью на одноосное сжатие

Обобщая результаты испытаний образцов бетона, можно сделать следующие выводы:

- а) установлено наличие трех типов разрушения бетонных образцов, определяемых соотношением и свойствами наполнителя и связующей компоненты;
- б) установлено, что преобладающее большинство показателей бетона характеризуется распределением Вейбулла;
- в) выявлено наличие корреляционной связи между плотностью бетона и пределом прочности на одноосное сжатие, которая имеет линейный характер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12730.0-2002. Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости.
2. ГОСТ 17624-87. Бетоны тяжелые и легкие. Ультразвуковой метод определения прочности.
3. ГОСТ 10180-2003. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
4. Карпенко Н.И., Мухамедиев Т.А., Петров А.Н. Исходные и трансформированные диаграммы деформирования бетона и арматуры // Напряженно-деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций. М.: НИИЖБ. – 1986. – С. 7-25.
5. Бабич Е.М., Крусь Ю.А., Гарницкий Ю.В. Новые аппроксимации зависимости «напряжение-деформация», учитывающие нелинейность деформирования бетонов // Изв. Вузов. Сер. Строительство. – 1996. – № 2. – С. 39-44.
6. Роговой С.И. Предельные деформации бетона при однородном и неоднородном сжатии // Бетон и железобетон в Украине. – 2000. – № 1. – С. 14-16.
7. Крусь Ю.О. Практичний метод визначення малоциклової втомленості бетону при стиску // Бетон и железобетон в Украине. – 2000. – № 4. – С. 10-17.
8. Ставров Г.Н., Руденко В.В. О критерии предельного состояния железобетонных конструкций при малоцикловых нагрузениях // Изв. Вузов. Сер. Строительство и архитектура. – 1986. – № 7. – С. 1-4
9. Кресов В.И. и др. Применение распределения Вейбулла к анализу прочности бетона // Заводская лаборатория. – 1987. – № 5.