

Рис. 1. График зависимости деформаций от уровня напряжений

#### Список литературы

1. Кокарев С. А., Кокарев А. М. К вопросу оценки деформаций зажатия трещин стержневых железобетонных элементов // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 8.
2. Ерышев В. А. Метод расчета деформаций железобетонных стержневых и плитных конструкций при повторных, знакопеременных и других видах сложного нагружения : дис. ... д-ра тех. наук. М. : НИИЖБ Госстроя СССР, 1997. 353 с.
3. Кокарев А. М. Деформация железобетонных элементов с трещинами при повторных и знакопеременных нагружениях и разгрузках : автореф. дис. ... канд. тех. наук. М. : НИИЖБ Госстроя СССР, 1983. 22 с.
4. Карпенко Н. И., Ерышев В. А., Мухамедиев Т. А. Исследование деформации ж/б балочных элементов при знакопеременных нагрузках // Исследование ж/б конструкций при статических, повторных и динамических воздействиях. М. : НИИЖБ Госстроя СССР, 1984. С. 56–72.

## ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БАЛОК ИЗ БЕТОНА И СЕРОБЕТОНА С КОМПОЗИТНОЙ И СТАЛЬНОЙ АРМАТУРОЙ

*А. М. Кокарев, С. А. Кокарев, Б. Б. Утегенов  
Астраханский государственный  
Архитектурно-строительный университет*

Для оценки соответствия результатов расчета с полученными результатами испытаний балок из бетона и серобетона со стальной и композитной арматурой проведенными ранее [1] выполнены расчеты прочности балок на действие изгибающего момента по нормальным сечениям по действующим нормам [2], также учитывались рекомендации [3] для определения граничной относительной высоты сжатой зоны. Методы определения граничной относительной высоты сжатой зоны с учетом деформативных свойств бетона и арматуры разрабатывались также в работах академика

Н. И. Карпенко, проф. В. А. Ерышева, А. М. Кокарева, С. А. Кокарева, С. Д. Алдахова [4–7].

В расчетах использованы данные, испытанных балок СП-8, СП-12, СМ-12, БМ-12, БП-12 (маркировку см. в [1]). Расчетные геометрические параметры балок установлены на основе обмеров, прочность бетона определена на основе испытаний образцов кубиков, изготовленных совместно с балками, прочность стальной арматуры принята по [2], для композитной арматуры по [8].

Данные результатов испытаний и расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Данные результатов испытаний и расчетов

Марка балки	Ед. изм.	БП-12	БМ-12	СП-8	СП-12	СМ-12
$M_{оп}$	кН*м	2,95	5,226	1,554	2,458	4,536
$b$	мм	78	78	78	78	78
$h_0$	мм	95	95	95	95	95
$R_b$	МПа	13,48	13,48	27,43	27,43	27,43
$E_b$	МПа	26170	26170	21390	21390	21390
$R_s$	МПа	800	365	800	800	365
$A_s$	мм <sup>2</sup>	113,1	113,1	50,3	113,1	113,1
$E_s$	МПа	50000	200000	50000	50000	200000
$\xi_R$		0,185	0,580	0,059	0,059	0,328
$N_b$	кН	18,441	57,897	11,958	11,958	66,723
$N_s$	кН	90,480	41,282	40,240	90,480	41,282
$M_b$	кН*м	1,590	3,906	1,103	1,103	5,298
$M_{b\%}$	%	46,10	25,26	29,05	55,14	-16,81
$M_s$	кН*м	7,802	2,785	3,710	8,343	3,278
$M_{s\%}$	%	-164,48	46,70	-138,76	-239,41	27,73

В табл. 1 приведенные величины имеют следующие обозначения:

$M_{оп}$  – опытное значение предельного момента;

$b$  – ширина сечения балки;

$h_0$  – рабочая высота сечения балки;

$R_b$  – призмная прочность бетона (серобетона) на сжатие;

$E_b$  – начальный модуль упругости бетона (серобетона);

$R_s$  – прочность арматуры на растяжение стальной (пластиковой);

$A_s$  – площадь сечения арматурного стержня;

$E_s$  – модуль упругости арматуры стальной (пластиковой);

$\xi_R$  – граничная относительная высота сжатой зоны;

$N_b$  – предельное усилие в бетоне при высоте сжатой зоны равной  $\xi_R * h_0$ ;

$N_s$  – предельное растягивающее усилие в арматуре;

$M_b$  – предельных изгибающий момент, определенный по усилию  $N_b$  с плечом внутренней пары сил равным  $(h_0 - \xi_R * h_0/2)$ ;

$M_s$  – предельных изгибающий момент, определенный по усилию  $N_s$  с плечом внутренней пары сил равным  $(h_0 - \xi_R * h_0/2)$ ;

$M_b\%$  – процент превышения значения опытного момента над расчетным, вычисленным по усилию  $N_b$ , минус – недостижение величины опытного момента;

$M_s\%$  – процент превышения значения опытного момента над расчетным, вычисленным по усилию  $N_s$ , минус – недостижение величины опытного момента.

Проведенные расчеты показали следующее. Изгибающие моменты, полученные из расчетов для соответствующих опытных балок, имеющие меньшую величину чем опытные (то есть, имеющие положительный процент), показывают запас прочности. Чем ближе значение расчетного момента к опытному, тем ближе к оптимальному получаем запас прочности. Допустимым полагают расчетный момент, не достигающий опытного значения на 5...10 %.

Для балок с композитной арматурой расчетный изгибающий момент, определенный по максимальному усилию в арматуре, намного превышает опытный, поскольку предельное усилие в арматуре намного больше, чем в бетоне сжатой зоны. Следовательно, эти балки переармированные, разрушение их произошло по сжатому бетону. При этом высота сжатой зоны значительно меньше, чем у балок со стальной арматурой. Это объясняется тем, что у композитной арматуры начальный модуль деформаций в 4 раза меньше, чем у стальной.

Так, например, у балки БП-12 разрушение произошло по бетону при значении момента равном 1,59 кН\*м, по арматуре балка могла выдержать момент 7,8 кН\*м, таким образом, арматура использовала свои возможности только на 20,4 %. Если, таким образом, рассмотреть балку из серобетона с композитной арматурой СП-12, увидим следующее. Разрушение по бетону произошло при значении момента равном 1,103 кН\*м, по арматуре балка могла бы выдержать момент 8,343 кН\*м, таким образом, арматура использовала свои возможности только на 13,2 %. Если уменьшим площадь композитной арматуры (балка СП-8), то эффективность использования арматуры возрастет и составит 29,7 %, но, тем не менее, это значение нельзя считать разумным.

Балка из серобетона со стальной арматурой (СМ-12) разрушилась по арматуре, при этом запас прочности составил 27,7 %.

Небольшие значения граничной относительной высоты сжатой зоны у балок, армированных композитной арматурой вызваны тем, что для ее определения использовалась формула, рекомендованная [1], которая применима для цементных бетонов. Серобетон имеет существенные отличия деформативных свойств от цементных бетонов. Испытания по определению модуля деформаций серобетона показали, что деформирование происходит практически упруго (рис. 1).

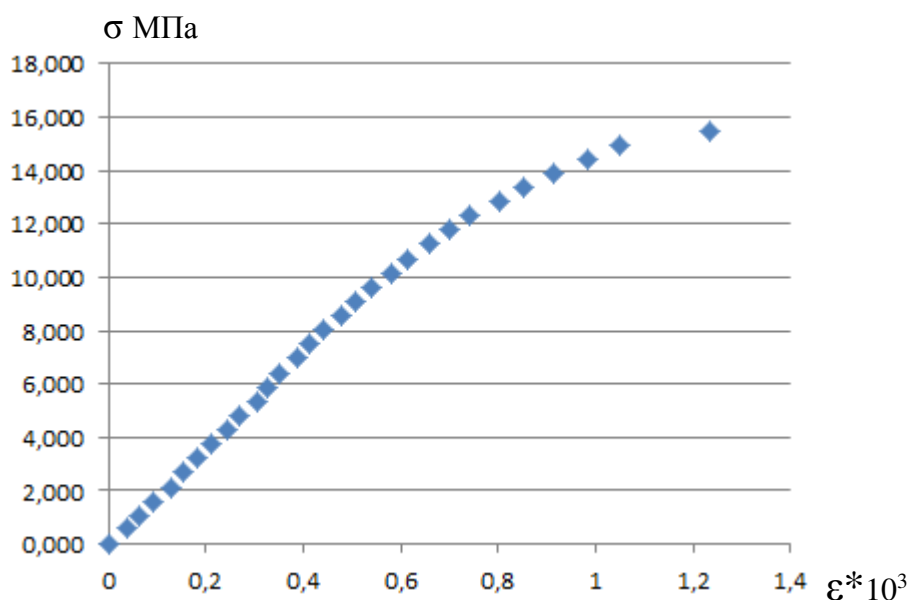


Рис. 1. Диаграмма « $\sigma - \epsilon$ » деформирования серобетона

Модуль деформаций серобетона существенно меньше модуля деформаций бетона, так для бетона с прочностью равной 13,48 МПа начальный модуль деформаций составляет 26170 МПа, для серобетона с прочностью 27,43 МПа составляет 21390 МПа. Если его значение привести к бетону с прочностью 27,43 МПа, то значение начального модуля деформаций серобетона должно составлять 35327 МПа, что фактически на 39,4 % меньше модуля упругости бетона.

На основе вышеприведенного можно сделать следующие выводы.

- Использование композиционной арматуры в качестве рабочей для изгибаемых элементов без предварительного напряжения нерационально из-за низкого процента использования ее прочности.
- Результаты расчетов, выполненных в соответствии с требованиями норм [2], гарантируют разумный запас прочности.
- В расчетах изгибаемых элементов армируемых композитной арматурой, выполненных из серобетона возможно подбирать площадь арматуры по величине предельного усилия в бетоне сжатой зоны, высота которой определена по действующим нормам [2] с уточнением деформативных свойств серобетона и композитной арматуры.
- Для выявления особенностей работы изгибаемых элементов из серобетона с композитной и стальной арматурой целесообразно продолжить исследование свойств серобетона и композитной арматуры.

#### Список литературы

1. Кокарев А. М., Кокарев С. А., Утегенов Б. Б. Особенности работы балок из бетона и серобетона с композитной и стальной арматурой // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи – развитию науки и образования : материалы III Международного научного форума молодых ученых, студентов и школьников. г. Астрахань, 21–25 апреля 2014 г. / под общ. ред. В. А. Гутмана, Д. П. Ануфриева. Астрахань.: ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2014. Т. 2. С. 84–86.

2. СП63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. М., 2012.
3. Рекомендации по расчету конструкций со стеклопластиковой арматурой. М. : НИИЖБ Госстроя, СССР, 1978. 21 с.
4. Карпенко Н. И. Общие модели механики железобетона. М. : Стройиздат, 1996. 416 с.: ил.
5. Ерышев В. А. Методика расчета деформации бетона при режимных нагружениях : монография. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2014. 131 с. : пер.
6. Кокарев С. А., Кокарев А. М. К вопросу оценки деформаций зажатия трещин стержневых железобетонных элементов // ПГС. 2012. № 8. С. 46–47.
7. Карпенко Н. И., Кокарев А. М., Алдахов С. Д. Основные параметры методики расчета железобетонных элементов на знакопеременную нагрузку // Сельскохозяйственные здания. Конструкции, методы расчета, теплофизика. М. : ЦНИИЭПсельстрой, 1986. С. 44–57.
8. СТО ТОО 620200399412-01-2012. Стандарт организации «Арматура неметаллическая композитная для армирования бетонных конструкций». Астана, 2012. 32 с.

## 3D-ПЕЧАТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*Е. А. Терновая*

*Астраханский государственный  
архитектурно-строительный университет*

Строительная отрасль сегодня сталкивается с такими серьезными проблемами, как низкая производительность труда, высокая статистика аварийных ситуаций на строительных площадках, недостаток квалифицированных рабочих. Такое направление как 3D-печать позволило недавно разработанным в лабораторных условиях технологиям выйти на новый уровень. Аддитивные технологии – обобщенное название технологий, предполагающих изготовление изделия по данным цифровой модели (или САД-модели) методом добавления материала. На сегодняшний день, аддитивные технологии, прошедшие путь от 3D-печати макетов и быстрого прототипирования к изготовлению готовых изделий для различных отраслей промышленности, привлекают все больше и больше инвестиций. Рост интереса к аддитивным технологиям обуславливается множеством факторов: высокий уровень автоматизации производства, улучшение качества продукции, ускорение процессов создания, возможность оптимизации САД моделей, уменьшение отходов производства и т.д.

Изготовление опалубки составляет от 35 до 60 % от общей стоимости бетонных конструкций. Возможность строительства бетонных конструкций без опалубки является важным преимуществом с точки зрения снижения затрат, скорости производства и архитектурной свободы, а также облегчения установки инженерных коммуникаций. Высокая автоматизация и роботизация процесса позволяют реализовывать проекты в агрессивных средах, не подвергая опасности здоровье персонала. Одним из первых, кто предложил идею о постепенной автоматизации строительного процесса, являлся профессор кафедры машиностроения Стэнфордского университе-