



ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ САМОУПЛОТНЯЮЩИХСЯ БЕТОНОВ КЛАССОВ В30-В100

Безгодов И.М. , инж.

- Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (МГСУ)

Каприелов С.С., д.т.н.

Шейнфельд А.В., д.т.н.

- Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева
АО «НИЦ «Строительство»

Джалаль Аль-Омаис, к.т.н. - Компания «CAPITAL GROUP»



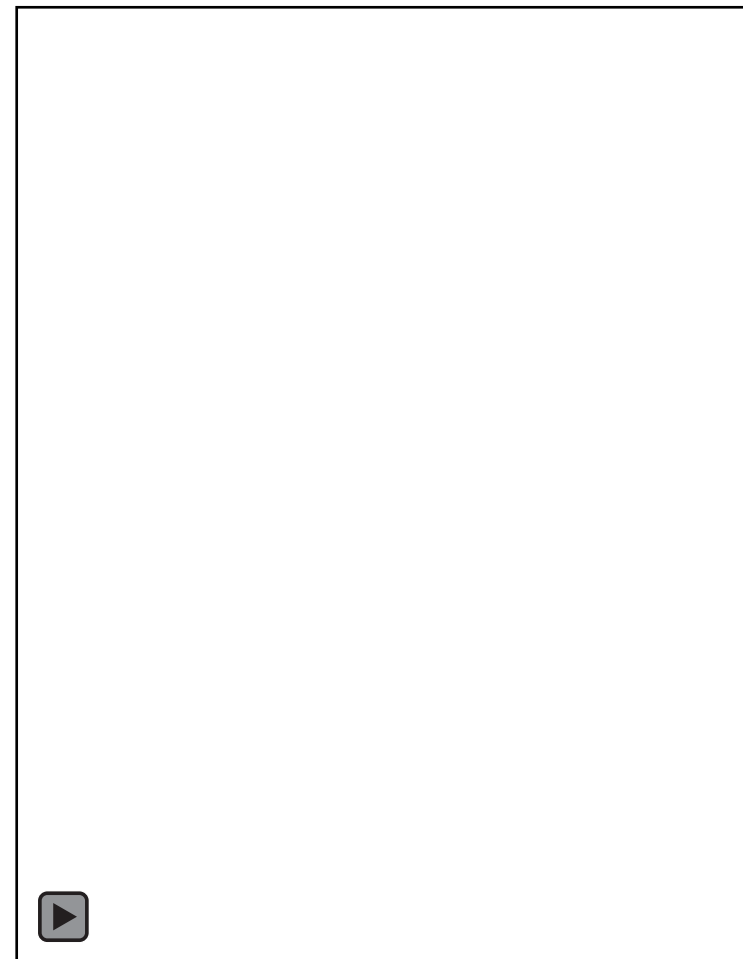
Самоуплотняющиеся бетоны классов В60-В100 в конструкциях высотных зданий CAPITAL TOWERS



Конструкции высотного здания



Армирование колонны



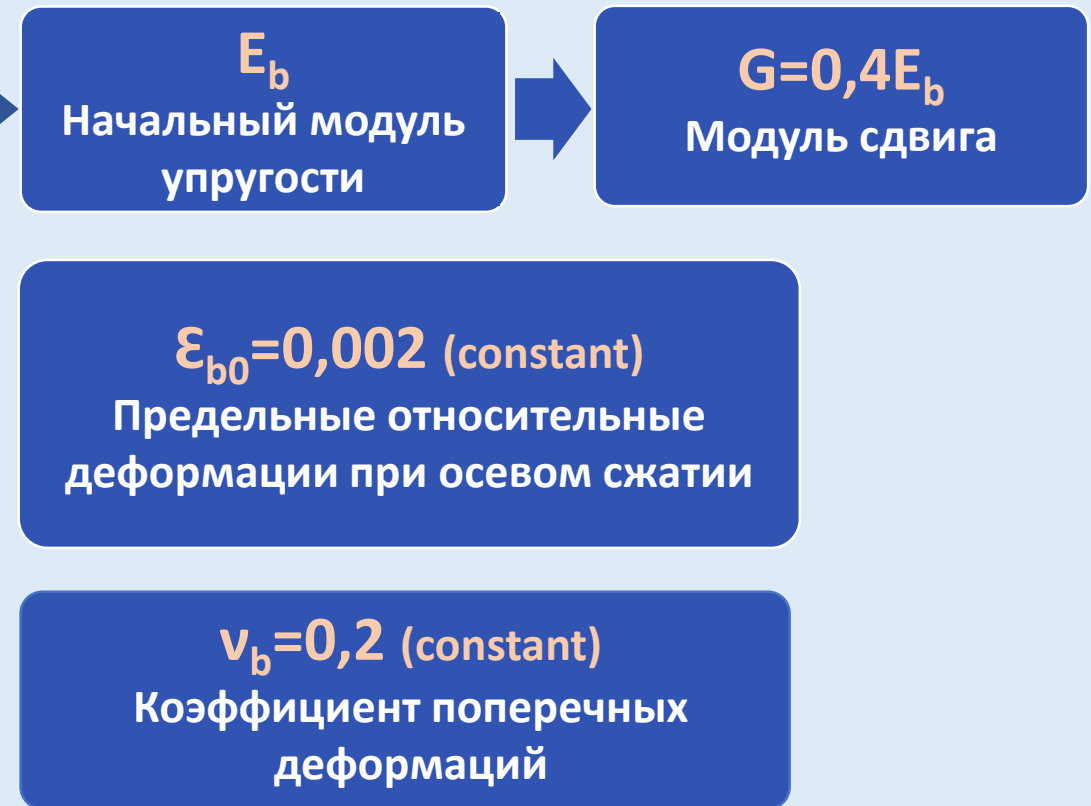
Укладка самоуплотняющейся
бетонной смеси марки БСТ В80

Взаимосвязь прочностных и деформационных характеристик бетона в соответствии с СП 63.13330.2018

❑ Прочностные характеристики



❑ Деформационные характеристики



Взаимосвязь прочностных и деформационных характеристик бетона в соответствии с EN 1992-1-1 Eurocode 2

❑ Прочностные характеристики

❑ Деформационные характеристики



Цель исследований

Установление зависимостей для определения деформационных характеристик и аналитического описания относительных деформаций и напряжений на любых этапах нагружения конструкций, возведенных из самоуплотняющихся бетонов классов В30-В100.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- определялись прочностные и деформационные характеристики самоуплотняющихся бетонов классов В30-В100;
- строились полные диаграммы деформирования бетонов, включая нисходящую ветвь;
- уточнялись зависимости деформационных характеристик бетонов от их призменной прочности;
- оценивались полученные результаты путём их сравнения с нормативными значениями, приведёнными в своде правил СП 63.13330.2018.

Составы и свойства самоуплотняющихся бетонных смесей

Класс бетона	Состав смесей, кг/м ³							Свойства смесей		
	Ц	МБ	МП	П	Щ	СП	В	γ, кг/м ³	РК, см	В/(Ц+МБ)
В30	287	-	148	822	871	3,53	198	2330	55	0,69
В55	305	29	167	836	836	-	177	2350	60	0,53
В70	349	65	150	818	838	-	161	2381	62	0,39
В80	423	70	101	826	846	-	161	2427	65	0,33
В100	482	131	50	733	904	-	151	2451	65	0,25

- Ц** - Портландцемент ЦЕМ I 52,5 Н
- МБ** - Органоминеральный модификатор МБ10-50С А-II-2, содержащий микрокремнезем (45%), золу-уноса (45%) и суперпластификатор (10%)
- МП** - Микронаполнитель – минеральный порошок МП-1 (молотый известняк) с размером частиц не более 1,25 мм
- СП** - Суперпластификатор SikaPlast E4 на основе смеси модифицированных лигносульфонатов и поликарбоксилатов
- П** - Песок кварцевый с модулем крупности $M_{кр}=2,55$
- Щ** - Щебень гранитный фракции 5-10 мм
- В** - Вода

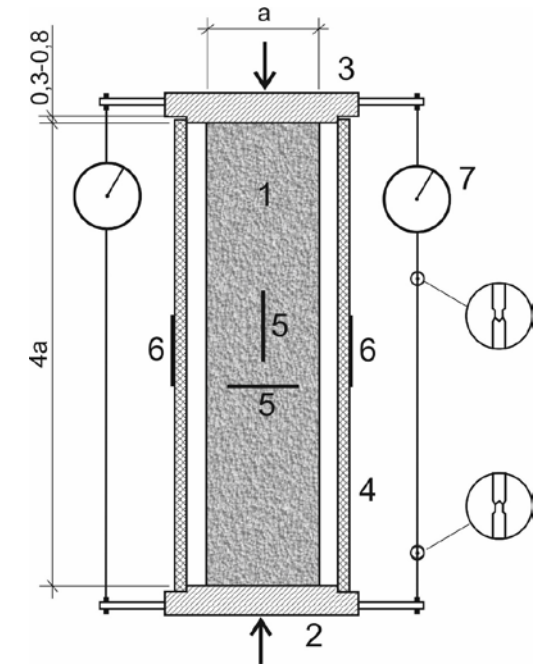
Методы испытаний



Определение начального модуля упругости и коэффициента Пуассона на образцах-призмах размером 100×100×400 мм по ГОСТ 24452

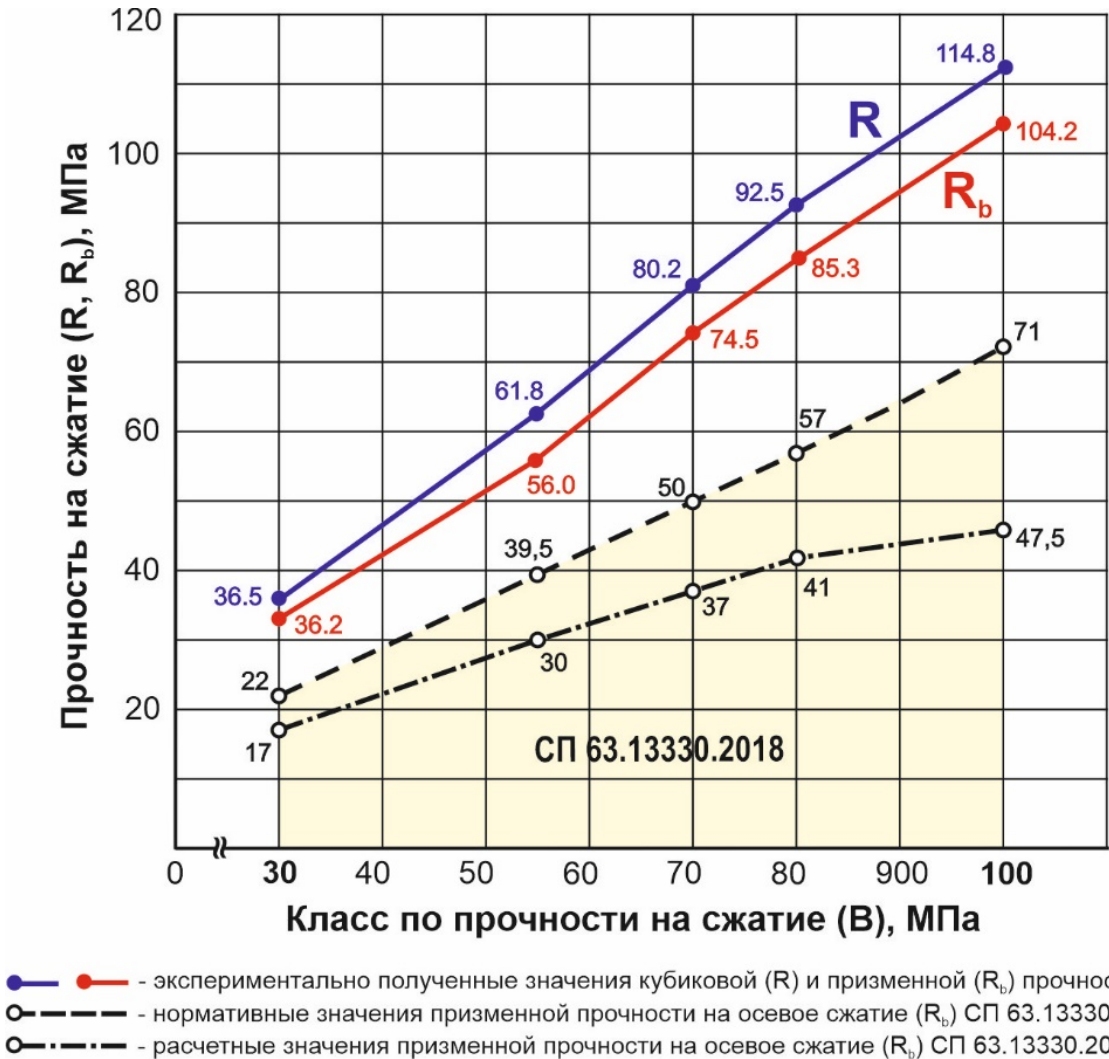


Построение полных диаграмм деформирования (включая нисходящую ветвь) на образцах-призмах размером 70,7×70,7×280,0 мм по специальной методике, разработанной в НИИЦ «МГСУ СТРОЙ-ТЕСТ»



- 1 - образец;
- 2 - нижняя пластина;
- 3 - верхняя пластина;
- 4 - дюралюминиевая трубка с внутренним диаметром 110 мм и толщиной стенки 5 мм;
- 5 - тензорезисторы образца;
- 6 - тензорезисторы трубки;
- 7 - индикаторы часового типа.

Прочность на сжатие



№ состава	B, МПа	R, МПа	R _b , МПа	R/R _b
1	B30	36,5	36,2	0,99
2	B55	61,8	56,0	0,91
3	B70	80,2	74,5	0,93
4	B80	92,5	85,3	0,92
5	B100	114,8	104,2	0,91

B – класс бетона по прочности на сжатие
 R – кубиковая прочность бетона на сжатие
 R_b – призмная прочность бетона на сжатие
 R/R_b – коэффициент призмной прочности

Начальный модуль упругости и коэффициент Пуассона



№ состава	B, МПа	R_b , МПа	E_b , ГПа	ν_b
1	B30	36,2	32,5	0,206
2	B55	56,0	39,2	0,214
3	B70	74,5	40,5	0,198
4	B80	85,3	44,1	0,205
5	B100	104,2	48,1	0,230

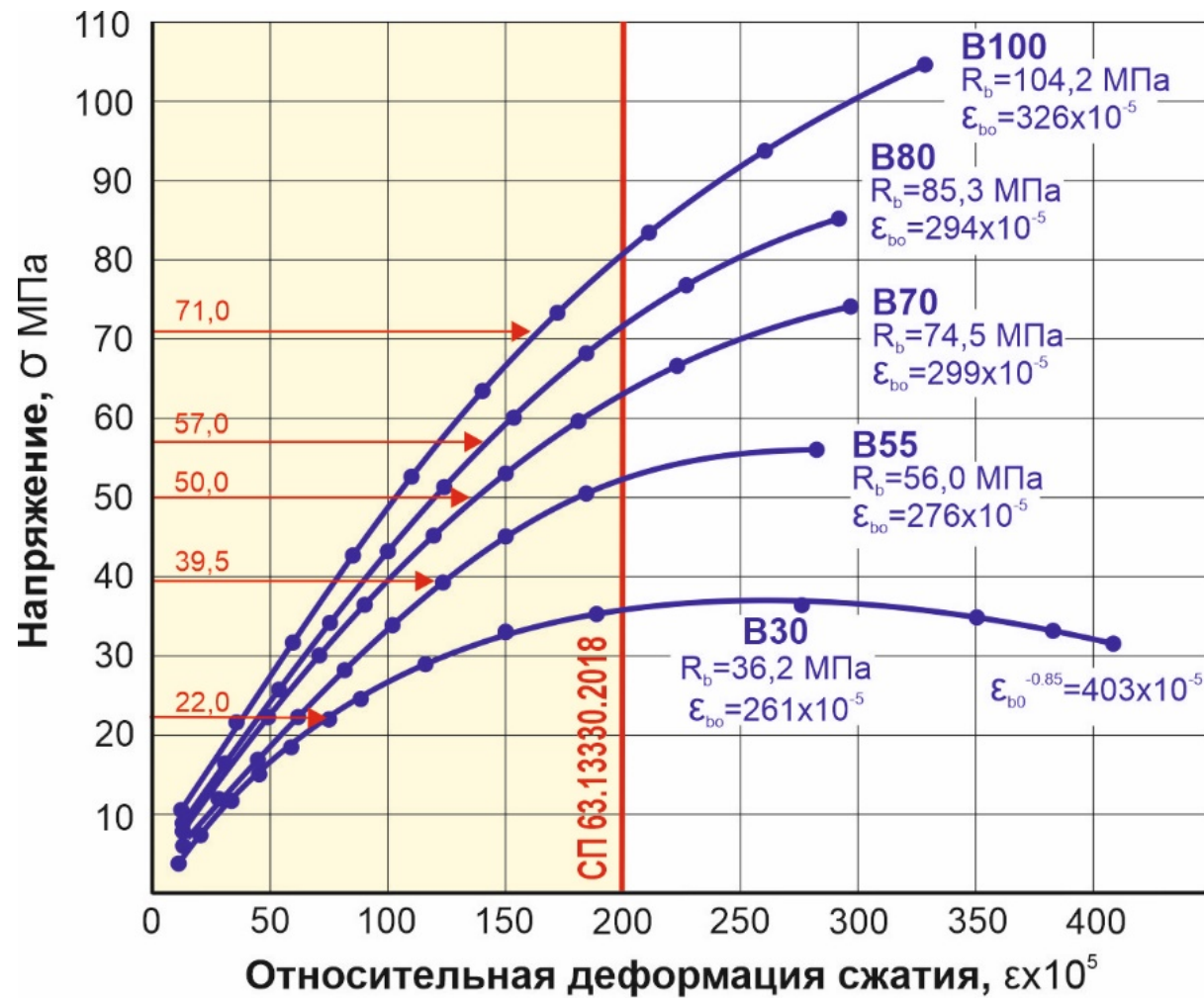
$$E_b = \frac{52000 \cdot R_b}{23 + 0,92 \cdot R_b}$$

E_b – начальный модуль упругости, МПа

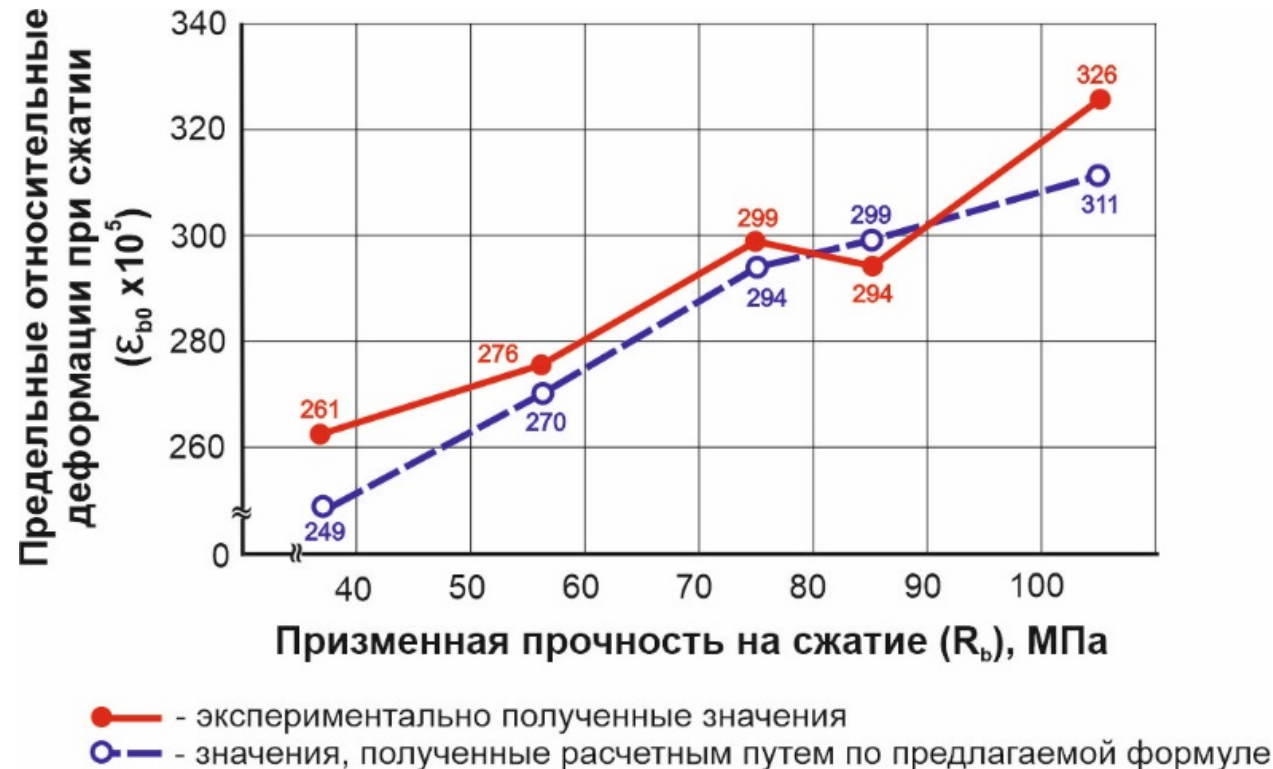
R_b – призменная прочность на осевое сжатие, МПа

● – экспериментально полученные значения
○ – значения, полученные расчетным путем по предлагаемой формуле

Полные диаграммы деформирования на осевое сжатие (σ - ϵ)



Предельные относительные деформации при осевом сжатии



№ состава	B, МПа	R _b , МПа	ε _{b0} × 10 ⁵
1	B30	36,2	261
2	B55	56,0	276
3	B70	74,5	299
4	B80	85,3	294
5	B100	104,2	326

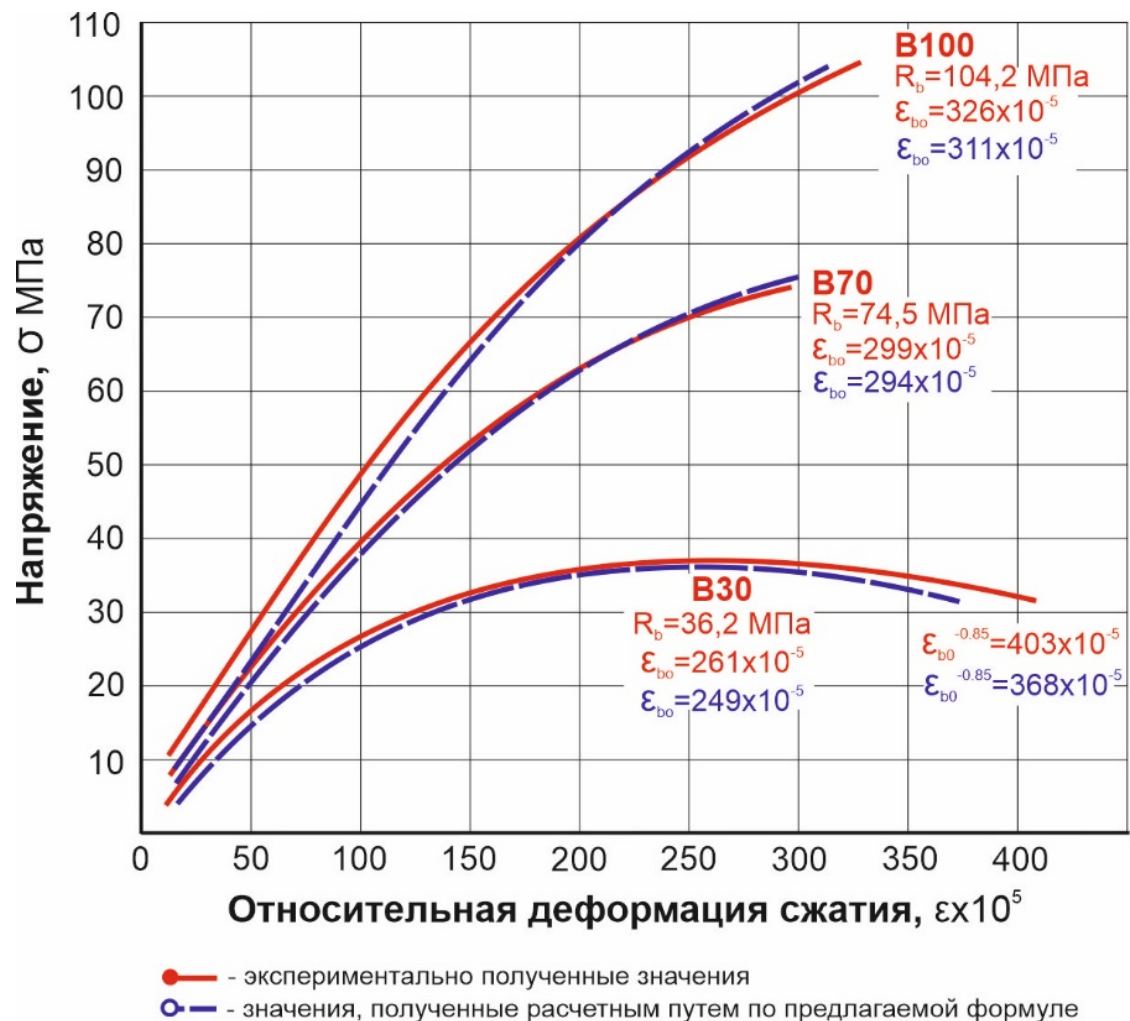
$$\epsilon_{b0} = 0,024 \sqrt[3]{\frac{R_b}{E_b}}$$

ϵ_{b0} — предельная относительная деформация сжатия

R_b — призменная прочность на осевое сжатие, МПа

E_b — начальный модуль упругости, МПа

Прогнозирование деформаций и напряжений самоуплотняющихся бетонов классов В30-В100

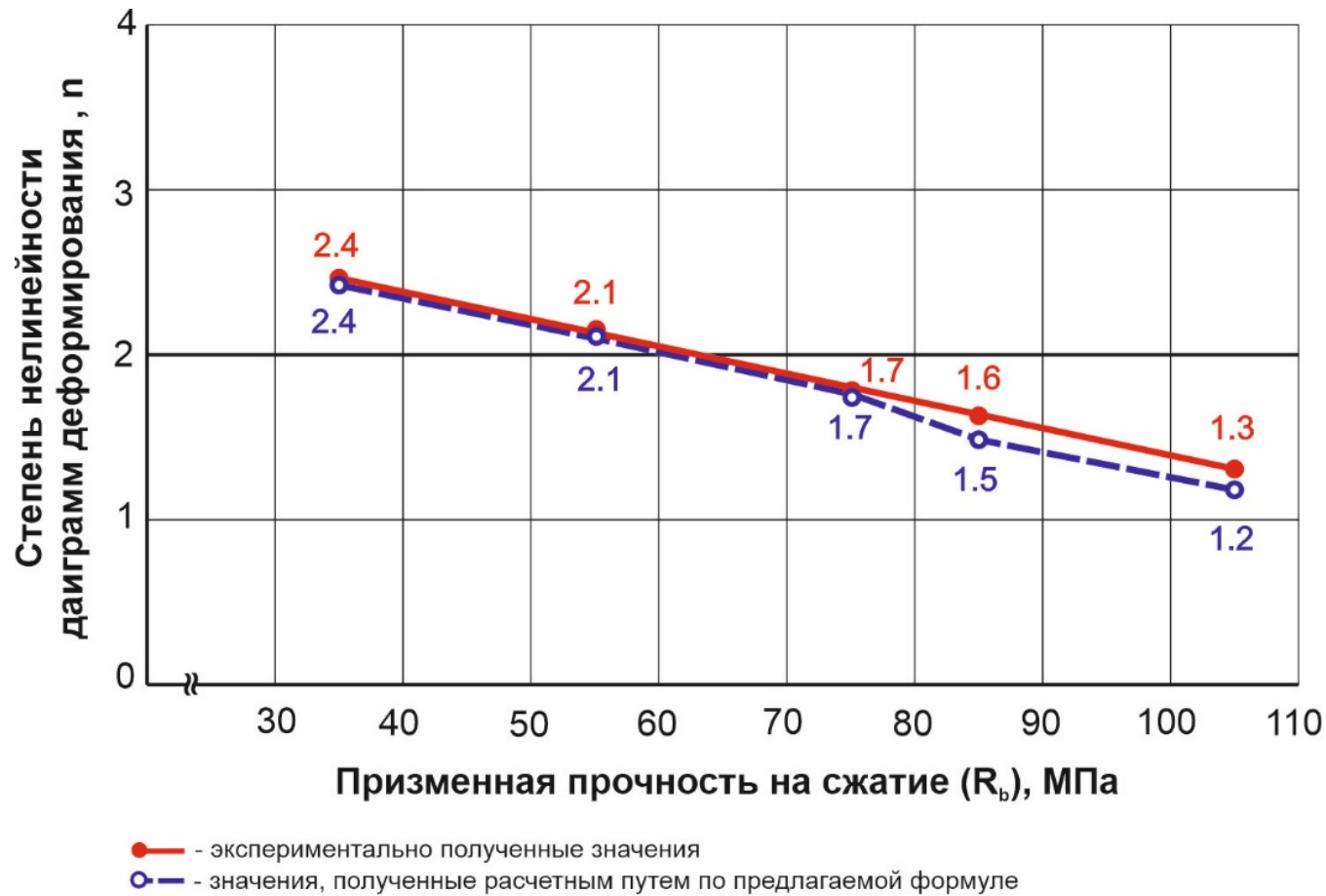


$$\epsilon_{\eta} = \epsilon_{b0} \cdot \left(1 \pm \sqrt[n]{1 - \frac{\sigma}{R_b}} \right)$$

$$\sigma_{\eta} = R_b - \left| 1 - \frac{\epsilon_{\eta}}{\epsilon_{b0}} \right|^n \cdot R_b$$

ϵ_{η} – деформации при заданном уровне напряжений
 σ_{η} – напряжение при заданной деформации, МПа
 η – уровень нагружения, равный отношению напряжения к призменной прочности (σ/R_b)
 ϵ_{b0} – предельная относительная деформация сжатия
 R_b – призменная прочность на осевое сжатие, МПа
 n – степень нелинейности диаграммы деформирования

Степень нелинейности полных относительных диаграмм деформирования бетона на осевое сжатие



№ состава	B, МПа	R _b , МПа	n
1	B30	36,2	2,4
2	B55	56,0	2,1
3	B70	74,5	1,7
4	B80	85,3	1,6
5	B100	104,2	1,3

$$n = 3.5 - \frac{R_b \cdot 10^3}{E_b}$$

n – степень нелинейности диаграммы деформирования
 R_b – призменная прочность на осевое сжатие, МПа
 E_b – начальный модуль упругости, МПа

ВЫВОДЫ

1. Определены прочностные и деформационные характеристики самоуплотняющихся бетонов классов В30-В100 с использованием стандартных и специальных методик.
2. Значения прочностных и деформационных характеристик высокопрочных самоуплотняющихся бетонов классов В80-В100 превышают нормативные значения, приведенные в своде правил СП 63.13330.2018.
3. Построены полные диаграммы деформирования самоуплотняющихся бетонов классов В30-В100, нелинейность которых уменьшается по мере роста прочности бетона. Нисходящая ветвь диаграммы σ - ϵ наблюдается только у бетона класса В30 с призменной прочностью 36,2 МПа, а у бетонов классов В55-В100 с призменной прочностью 56,0-104,2 МПа она отсутствует.
4. Установлены зависимости для определения начального модуля упругости, предельных относительных деформаций сжатия и аналитического описания относительных деформаций и напряжений на любых этапах нагружения конструкций, возведенных из самоуплотняющихся бетонов классов В30-В100.

Эффективность выполненной работы

Учет в расчетах фактических значений прочностных и деформационных характеристик высокопрочных самоуплотняющихся бетонов классов В60-В100 в конструкциях, позволил без дополнительных мероприятий, повысить высоту трех высотных зданий Многофункционального жилого комплекса CAPITAL TOWERS на шесть этажей и увеличить его полезную площадь на 14 286 м².



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

