

### МЕТОДИКА НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РЕБРИСТЫХ ПЛИТ ПОКРЫТИЯ

*Рассмотрена методика натурных испытаний железобетонных ребристых плит покрытия. Приведены диаграммы деформирования бетона и арматуры на основе экспериментальных данных.*

**Ключевые слова:** натурные испытания конструкций, бетона, арматуры; диаграммы деформирования.

Испытание конструкций и сооружений или их моделей имеют большое значение для развития строительной индустрии и оценки их качества. Результаты испытаний дают возможность проверить надежность принятых методов расчета и конструирования, а также правильность технологии изготовления элементов конструкций зданий и сооружений. Введение в расчет допущений, упрощающих решение задач, и несовершенство методики расчета снижают точность определения напряженного состояния в элементах проектируемых конструкций и не дают уверенности в достаточном совпадении результатов расчета с одноименными характеристиками действительной работы конструкции. Особое значение это имеет для конструкций, изготавливаемых из комплексного материала – железобетона, обладающего пластическими свойствами и работающего часто при наличии трещин в растянутой зоне. Таким образом, целью испытаний конструкций или сооружений, как правило, является выявление их напряженно-деформированного состояния под нагрузкой, определение возможности и условий эксплуатации, проверка качества строительных материалов и работ.

Приоритетным направлением в развитии современной науки является проблема уменьшения материалоемкости строительных конструкций заводского изготовления. Основной акцент при этом де-

лается на оптимальное соотношение экономичности и безопасности конструкций при эксплуатации. Наиболее экономичными и активно внедряемыми в практику строительства являются конструкции ребристых плит покрытий со смешанным армированием, для которых на сегодняшний день не существует точных методов оценки напряженно-деформированного состояния и четко обоснованных критериев выбора классов совмещенной арматуры.

При испытании ребристых плит покрытия оценивались следующие изменения конструкции: перемещение опор конструкции; прогибы в сечениях подлежащих анализу; линейные деформации.

Испытание плит производилось в соответствии с ГОСТ 8829-94. Для эксперимента выбирались конструкции одного формирования. Нагружение плит осуществлялось металлическими грузами (рис. 1). Перед испытанием производились геометрические замеры плит, выгиба, положения напрягаемой арматуры по торцам конструкций мерительным инструментом, в центре – прибором ИЗС.

Совместно с исследуемыми конструкциями производилось изготовление бетонных призм сечением 7×7×30 см, испытания которых осуществлялись одновременно с конструкциями.

\* - автор, с которым следует вести переписку.

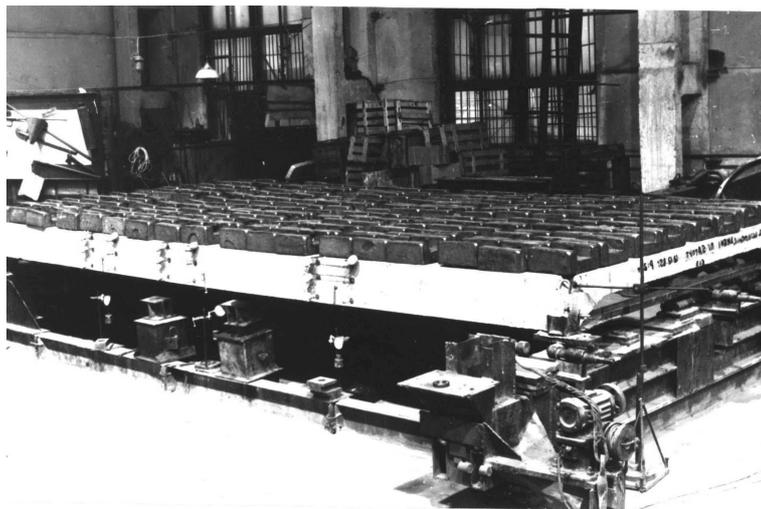


Рис. 1. Испытание ребристых железобетонных плит покрытия.

Испытания высокопрочной стержневой арматуры проводилось по принятой на комбинате «Братскжелезобетон» методике [1, 2] в состоянии поставки. Уровень предварительного напряжения контролировался в процессе изготовления плит.

Линейные деформации определялись в 4...5 уровнях по высоте и трех сечениях по длине конструкции. Первый уровень соответствовал фибровым деформациям бетона сжатой зоны, второй – на расстоянии 30..50 мм, следующие – с интервалом 100..150 мм, последний – на оси нижней напрягаемой арматуры. Деформации измеряли индикаторами часового типа с ценой деления 0,001 мм на базе 300 мм, с использованием удлинителей. Такое расположение приборов позволило определить высоту сжатой зоны бетона и характер распределения деформаций по высоте сечения.

Замер прогибов проводился для сечений в середине пролета и на расстоянии  $1/4$  и  $1/6$   $l$  от опоры с использованием прогибомеров Аистова с ценой деления 0,01 мм. Полученные прогибы в трех сечениях совместно с перемещениями опор

позволяют с высокой достоверностью получить уравнение кривизны плит в процессе нагружения.

Нагружение плит осуществлялось этапами. Этапы составляли 20, 40, 60, 80, 90 и 100 % нормативной нагрузки. На каждом этапе выдержка составляла 10 минут, при контрольной нагрузке по жесткости и трещиностойкости – 30 минут. В конце выдержки производился визуальный осмотр граней плит, фиксировались появившиеся трещины, показания приборов, замерялись ширина раскрытия трещин микроскопом Бриннеля и смещение арматуры относительно бетона на торцах плит. Для контроля момента появления трещин в конструкциях поверхность бетона обрабатывалась ацетоном. После приложения контрольной нагрузки по трещиностойкости дальнейшее нагружение осуществлялось этапами, составляющими 10 % контрольной нагрузки по прочности вплоть до разрушения. Основные параметры испытанных ребристых плит покрытия со смешанным армированием представлены в таблице 1.

Таблица 1

*Характеристики ребристых плит покрытия со смешанным армированием*

Марка плиты	Размер плиты в плане	Количество испытанных конструкций, шт.	Класс бетона	Армирование
ЗПГ6-5Ат-V Серия 1.465.1-17	3 x 6 м.	4	B30	напрягаемая – 2Ø18 Ат-V (Ат800); ненапрягаемая – 2Ø18 А-III (А400)
ПГ4-6А-IV ГОСТ 22701.1-77*	3 x 6 м.	2	B25	напрягаемая – 2Ø20 Ат-V (Ат800); ненапрягаемая – 2Ø14 А-III (А400)
2ПГ12-3Атп-V Серия 1.465.1-3180	3 x 12 м.	2	B30	напрягаемая – 4Ø20 Атп-V (Атп800); ненапрягаемая – 2Ø18 А-III (А400)

Таблица 2

*Характер испытания ребристых плит со смешанным армированием*

Марка конструкции	Класс бетона	$\frac{R_b, \text{МПа}}{V, \%}$	$\frac{R_{bt}, \text{МПа}}{V, \%}$	$\frac{R_{bp}, \text{МПа}}{V, \%}$	$\frac{E_b, \text{МПа}}{V, \%}$
		ЗПГ6-5Ат-V	B30	$\frac{26,39}{12,2}$	$\frac{2,06}{13,5}$
ПГ4-А-IV	B25	$\frac{25,60}{10,4}$	$\frac{2,0}{13,5}$	$\frac{32,8}{12,2}$	$\frac{32755}{6,1}$
2ПГ12-3Атп-V	B30	$\frac{30,30}{11,8}$	$\frac{2,7}{13,5}$	$\frac{38,4}{11,8}$	$\frac{35000}{4,9}$

Примечания:  $R_b$  - призмная прочность бетона на сжатие;  $R_{bt}$  - то же на растяжение;  $R_{bp}$  - передаточная прочность бетона;  $E_b$  - начальный модуль упругости бетона;  $V$  - коэффициент вариации.

Для создания математической модели деформирования железобетона необходимы аналитические зависимости, описывающие диаграммы деформирования бетона и арматуры. Аппроксимирующая диаграмму функция должна как можно точнее повторять вид фактической кривой, установленной опытным путем.

Для получения экспериментальной диаграммы деформирования бетона на комбинате «Братскжелезобетон» испытания проводились на типовом прессе П-50, оснащённом упругими элементами, в качестве которых были использованы об-

разцовые динамометры ДОР-500 [3]. Испытания проводились по следующему режиму: нагружение осуществлялось со скоростью 0,3 МПа/мин ступенями, равными 1 т. Упругие элементы включались в работу (подкручиванием гаек) при нагрузке, составляющей 60...70 % от разрушающей, при этом параллельно на другом прессе проводились испытания образцов без упругих элементов. Продольные деформации замерялись на базе 160 мм индикаторами часового типа с ценой деления 0,001 мм.

В результате испытаний бетонных образцов на сжатие получаем модуль упругости бетона  $E_b$ ,  $R_b$ , предел длительной прочности бетона  $\sigma_{08}=0,8 R_b$ , деформации, соответствующие данному пределу  $\epsilon_{08}$ . Также получаем предельные деформации при сжатии  $\epsilon_b$ , которые соответствуют пределу прочности бетона. Результаты испытаний бетонов различных классов приведены в таблице 2.

Методика испытания арматурной стали включает отбор образцов длиной 700...800 мм, их торцевание на токарном станке, взвешивание и определение фактической площади сечения по формуле:  $A_{\phi}=m/(\rho \cdot l)$ , где  $m$  и  $l$  – масса и длина образцов,  $\rho$  – плотность стали. Затем образцы размечаются специальным приспособлением, разработанным в НИИЖБе. Размеченные образцы устанавливаются в разрывную машину, к ним крепятся держатели индикаторов часового типа на базе 220 мм и удлинитель. После установки

индикаторов осуществляются испытания. Нулевые отсчеты индикаторов записываются при нагрузке, равной 2...3 МПа. На первых трех этапах нагрузку прикладывают ступенями, составляющими соответственно 8, 16, 24 % номинального значения временного сопротивления с выдержкой на ступени в течение 10 сек., после чего фиксируются показания приборов.

В результате испытания арматуры на растяжение получаем следующие параметрические точки, необходимые для описания диаграммы деформирования арматуры: модуль упругости  $E_s$ ; предел упругости  $\sigma_{s,el}$ ; предел текучести (физический или условный)  $\sigma_{02}$ ; временное сопротивление разрыву  $\sigma_{su}$ ; равномерное удлинение при разрыве  $\delta_p$ .

Результаты испытаний арматуры разных классов представлены на рис. 5–7 и в таблице 3.

Таблица 3

Результаты входного контроля высокопрочной арматуры для исследуемых ребристых плит

Марка конструкции	Диаметр и класс арматуры	$\frac{E_s \cdot 10^{-5}, \text{МПа}}{V, \%}$	$\frac{\sigma_{02}, \text{МПа}}{V, \%}$	$\frac{\sigma_{su}, \text{МПа}}{V, \%}$	$\frac{\delta_p}{V, \%}$	$\frac{A_s / A_s^n}{V, \%}$
ЗПГ6–5Ат–V	Ø18 Ат-V (Ат800)	$\frac{2,1}{2,4}$	$\frac{1035}{11,8}$	$\frac{1185}{5,8}$	$\frac{2,9}{18,2}$	$\frac{0,97}{3,4}$
ПГ4–А–IV	Ø20 Ат-V (Ат800)	$\frac{2,01}{3,9}$	$\frac{903,6}{6,9}$	$\frac{1036,7}{6,0}$	$\frac{4,7}{21,9}$	$\frac{0,98}{4,35}$
2ПГ12–3Атп–V	Ø20 Атп-V (Атп800)	$\frac{1,98}{3,3}$	$\frac{960}{10,6}$	$\frac{1069}{6,6}$	$\frac{4,1}{22,1}$	$\frac{0,978}{1,52}$

Примечания:  $E_s$  – модуль упругости арматуры;  $\sigma_{02}$  – условный предел текучести;  $\sigma_{su}$  – временное сопротивление разрыву;  $\delta_p$  – равномерное удлинение при разрыве;  $A_s / A_s^n$  – отношение фактической площади сечения арматуры к номинальной;  $V$  – коэффициент вариации.

При обработке результатов испытания бетона и арматуры были использованы способы: аппроксимация диаграмм бетона и стали методом секущих модулей (Н.И. Карпенко) и с помощью сплайн-функций третьего порядка [4, 5].

Для проверки адекватности принятых способов аппроксимации диаграмм деформирования материалов были построены границы доверительных интервалов при обеспеченности 0,98 с учетом нормального закона распределения этих характеристик [1, 2, 6].

По результатам испытаний бетонных образцов строятся диаграммы сжатия бетона различных классов для испытанных конструкций (рис. 2-4). Наряду с опытными точками показаны результаты аппроксимации диаграмм с помощью сплайн-функций третьего порядка и с помощью секущих модулей.

Для определения статистических характеристик стали было испытано по 3-6

арматурных стержней соответствующих плавок; результаты испытаний представлены в таблице 2.

Аппроксимация экспериментальных данных для построения диаграмм растяжения высокопрочной арматуры выполнена двумя способами: с помощью сплайн-функций и по методу переменных секущих модулей (рис. 5-8), для арматуры класса А-III (А400) только с помощью секущих модулей.

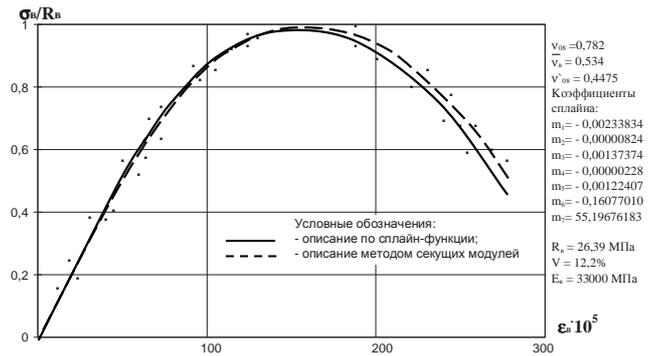


Рис. 2. Диаграмма сжатия бетона класса В30 (плита ЗПГ6-5Ат-V).

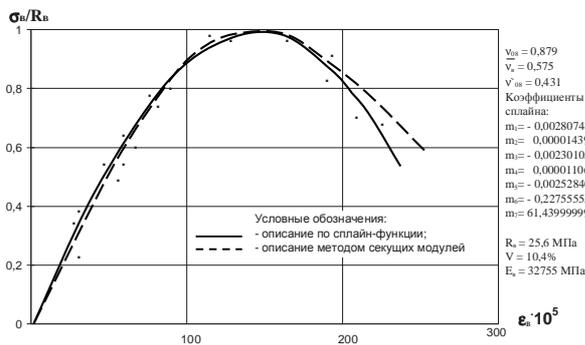


Рис. 3. Диаграмма сжатия бетона класса В25 (плита ПГ4-А-IV).

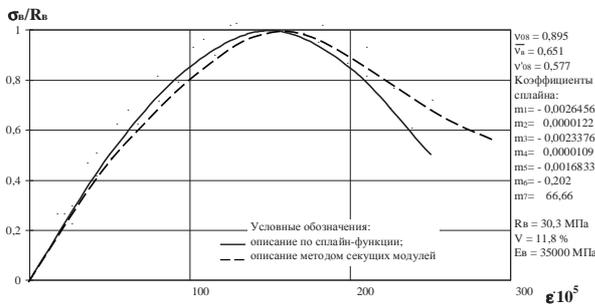


Рис. 4. Диаграмма сжатия бетона класса В30 (плита 2ПГ12-3Атп-V).

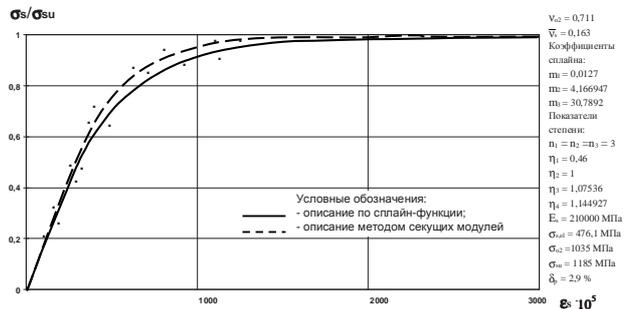


Рис. 5. Диаграмма растяжения арматуры класса Ат-V (Ат800) Ø18 мм для плит ЗПГ6-5Ат-V.

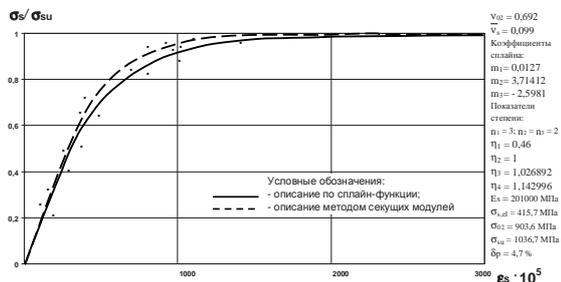


Рис. 6. Диаграмма растяжения арматуры класса Ат-V (Ат800) Ø20 мм для плит ПГ4-А-IV.

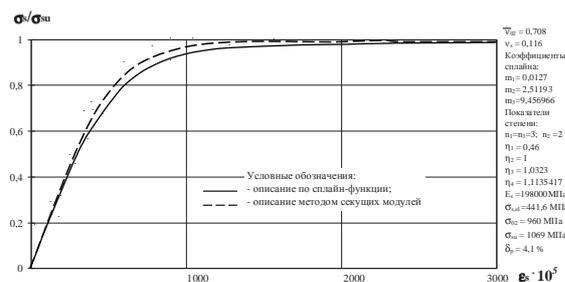


Рис. 7. Диаграмма растяжения арматуры класса Аtp-V (Аtp800) Ø20 мм для плит 2ПГ12-3Аtp-V.

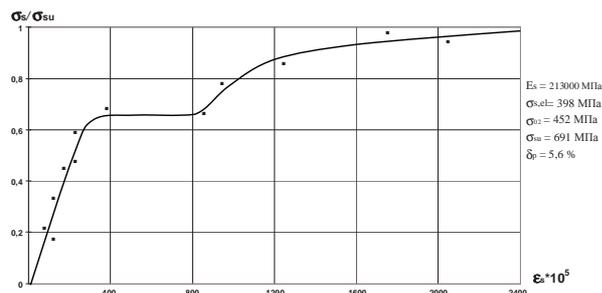


Рис. 8. Диаграмма растяжения арматуры класса А-III (А400) Ø18 мм для плит 3ПГ6-5Аt-V, ПГ-4А-IV, 2ПГ12-3Аtp-V.

Анализ обоих способов описания диаграмм растяжения арматуры показал достаточно удовлетворительную их сходимость с экспериментальными точками, которые попадают в границы доверительного интервала обеих аппроксимирующих зависимостей при обеспеченности 0,98.

Испытания конструкций нагружением выполняются с целью комплексной проверки обеспечения их эксплуатационной пригодности на стадии изготовления. В результате испытаний определяются фактические значения разрушающих нагрузок при испытании изделий по прочности (первая группа предельных состояний) и фактические значения прогибов и ширины раскрытия трещин при контрольной

нагрузке по жесткости и трещиностойкости (вторая группа предельных состояний).

### Литература:

1. Самарин Ю. А., Коваленко Г. В., Орлов М. Т. Резервы надежности и долговечности железобетонных конструкций заводского изготовления. М. : Информэнерго, 1988. 44 с. (Энергетика и электрификация. Сер. Строит. индустрия в энергетике ; вып. 3).
2. Самарин Ю. А. Влияние технологических факторов на изменчивость свойств материалов, конструкций при производстве сборного железобетона : обзорная информ. М. : Информэнерго, 1989. 60 с. (Энергетика и электрификация. Сер. Строит. индустрия в энергетике ; вып. 3)
3. Коваленко Г. В., Самарин Ю. А., Митасов В. М. Оценка напряженно-деформированного состояния ребристых плит различными расчетными моделями // Изв. вузов. Стр-во и архитектура. 1990. № 11. С. 116-121.
4. Мадатян С. А. Диаграмма растяжения высокопрочной арматурной стали в состоянии поставки // Бетон и железобетон. 1985. № 2. С.12-13.
5. Митасов В. М., Адищева В. В., Федоров Д. А. Развитие теории сопротивления железобетона // Пром-сть строит. материалов. Сер. 3, Пром-сть сборного железобетона. 1991. Вып. 4. 44 с.
6. Тамразян А. Г., Дудина И. В. Влияние изменчивости контролируемых параметров на надежность преднапряженных балок на стадии изготовления // Жил. стр-во. 2001. № 1. С. 16-17.