

АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОПРОЧНОЙ СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРЫ ОТ РАЗНЫХ ЗАВОДОВ-ПОСТАВЩИКОВ

Приводятся данные статистической обработки результатов входного контроля физико-механических характеристик стержневой арматуры, которые затем используются в вероятностных алгоритмах по оценке надежности конструкций заводского изготовления. Представлено описание диаграммы растяжения арматуры и ее сопоставление с экспериментальными данными.

Ключевые слова: натурные испытания конструкций, стержневой арматуры; диаграммы деформирования стали.

Перспективным направлением в совершенствовании методов расчета железобетонных элементов является использование полных (с нисходящими ветвями) диаграмм деформирования « $\sigma - \varepsilon$ » конструкционных материалов. Введение их в явном виде в уравнения равновесия нормальных сечений позволяет получить аналитические (интегральные или алгебраические) зависимости, описывающие напряженно-деформированное состояние (НДС) на всех стадиях, включая закритическую. В свою очередь эти аналитические зависимости служат основой для решения широкого диапазона теоретических и практических задач, связанных с анализом параметров НДС на различных стадиях и разработкой методов расчета изгибаемых элементов по прочности, деформативности и трещиностойкости.

Актуальным в настоящее время является также разработка вероятностных алгоритмов и программ по оценке начальной надежности железобетонных конструкций массового заводского изготовления, с помощью которых производится контроль их качества и оценка эксплуатационной пригодности [1]. При использовании этих программ в системе автоматизированного заводского контроля необходимо ежемесячно устанавливать параметры технологического процесса и их изменчивость. Входному контролю качества подвергаются следующие показатели: качество цемента, его активность, качество и гранулометрический состав заполнителя, количество воды, характеристики режима тепловлажностной обработки (ТВО) бетона, прочность бетона, его деформативные свойства, а также физико-механические характеристики арматуры.

Следует отметить, что прочностные и деформативные характеристики арматуры, а также их изменчивость контролируются на заводах ЖБИ, в частности на комбинате «Братскжелезобетон» в стадии поставки (входной контроль), который осуществляется по мере поступления арматуры на комбинат от каждого завода-поставщика примерно один раз в 3-6 месяцев [2].

Проведена статистическая обработка результатов входного контроля поступающей на комбинат «Братскжелезобетон» высокопрочной стержневой арматуры и данных сертификатов заводов-поставщиков за последние 20 лет. Результаты обработки характеристик арматуры представлены в таблице 1 и анализ их показывает, что средние значения условного предела текучести ($\sigma_{0,2}$), временного сопротивления (σ_{su}) и удлинения при разрыве для всех поставщиков, кроме Челябинского металлургического комбината отличаются не более чем на 5-8%, а меньшая изменчивость $\sigma_{0,2}$ и σ_{su} по данным заводов-поставщиков объясняется усреднением результатов каждой партии, тогда как, при входном контроле учитываются испытания всех стержней.

Следует отметить превышение паспортных данных по $\sigma_{0,2}$ для сталей 20ХГ2Т, 20ХГ2Ц, 23Х2Г2Т, выпускаемых Челябинским металлургическим предприятием, по сравнению с результатами входного контроля, чего не наблюдается по другим сталям. Это различие вызывается использованием на металлургическом комбинате диаграммных аппаратов большей инерционности и недостаточной точности [2], в то время, как при входном контроле используются индикаторы часового типа.

* - автор, с которым следует вести переписку.

Таблица 1

Результаты входного контроля стержневой арматуры от разных заводов-поставщиков

Арматура	Диаметр, мм	Металлургический комбинат	Кол-во испытанных партий	Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа		Временное сопротивление σ_{stl} , МПа		Отношение фактической площади к номинальной A_s/A_s^N		Удлинение при разрыве, %	
				Среднее значение	Коэф. вариации	Среднее значение	Коэф. вариации	Среднее значение	Коэф. вариации	Среднее значение	Коэф. вариации
A-IV 20XГ2Ц (A600)	Ø 12-18	Челябинский	$\frac{348}{112}$	$\frac{659}{723}$	$\frac{0,15}{0,095}$	$\frac{1020}{1074}$	$\frac{0,112}{0,092}$	0,9666	0,03	$\frac{14,54}{9,8}$	$\frac{0,248}{0,27}$
A-IV 20XГ2Г (A600)	Ø 12-18	Челябинский	$\frac{126}{74}$	$\frac{665}{735}$	$\frac{0,17}{0,132}$	$\frac{1032}{1107}$	$\frac{0,106}{0,059}$	0,982	0,072	$\frac{13}{10,5}$	$\frac{0,268}{0,399}$
A-IVc 25Г2С (A 600)	Ø 14	Новокузнецкий	$\frac{62}{54}$	$\frac{853}{856}$	$\frac{0,103}{0,148}$	$\frac{986}{1054}$	$\frac{0,079}{0,115}$	0,988	0,017	$\frac{15,5}{12}$	$\frac{0,138}{0,157}$
Атп-V 35ГС (A 800)	Ø 20-25	Макеевский	$\frac{268}{123}$	$\frac{983}{951}$	$\frac{0,091}{0,058}$	$\frac{1110}{1082}$	$\frac{0,089}{0,049}$	0,977	0,016	$\frac{12,4}{12}$	$\frac{0,154}{0,152}$
Ат-V 20ГС (A 800)	Ø 14	Новокузнецкий	$\frac{248}{231}$	$\frac{1062}{1057}$	$\frac{0,056}{0,075}$	$\frac{1218}{1244}$	$\frac{0,065}{0,063}$	0,983	0,021	$\frac{12,6}{10,8}$	$\frac{0,136}{0,133}$
Ат-V 22С (A 800)	Ø 20-25	Макеевский	$\frac{53}{51}$	$\frac{1075}{960}$	$\frac{0,082}{0,096}$	$\frac{1215}{1135}$	$\frac{0,092}{0,085}$	1,01	0,069	$\frac{12,2}{11,3}$	$\frac{0,115}{0,144}$
Ат-V 08Г2С (A 800)	Ø 20-22	Макеевский	$\frac{34}{22}$	$\frac{883}{884}$	$\frac{0,047}{0,026}$	$\frac{1033}{1076}$	$\frac{0,033}{0,017}$	1,0	0,018	$\frac{14,5}{13,4}$	$\frac{0,098}{0,138}$
Ат-V 23X2Г2Г (A 800)	Ø 12-14	Челябинский	$\frac{154}{38}$	$\frac{779}{931}$	$\frac{0,138}{0,185}$	$\frac{1150}{1165}$	$\frac{0,089}{0,088}$	0,973	0,052	$\frac{13,6}{9,9}$	$\frac{0,138}{0,265}$

Примечание. Числитель – результаты входного контроля; знаменатель – данные сертификатов заводов-поставщиков.

В результате испытания арматуры на растяжение получаем следующие параметрические точки, необходимые для аналитического описания диаграммы растяжения арматуры:

- модуль упругости E_s ;
- предел упругости $\sigma_{s,el}$;
- предел текучести (физический или условный) $\sigma_{0,2}$;
- временное сопротивление разрыву σ_{stl} ;
- равномерное удлинение при разрыве δ_p .

При испытании разных марок стали на комбинате условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ оценивается по величине остаточных деформаций (рис.1). На графиках представлены экспериментальные данные, полученные при испытании арматурных образцов и границы доверительного интервала для определения остаточных деформаций с обеспеченностью 0,98. Границы доверительного интервала це-

лесообразно устанавливать по напряжениям $\sigma_{0,2}$, статистические характеристики которых приведены в табл.1:

$$\sigma_{0,2}(\max, \min) = \bar{\sigma}_{0,2} \pm 2S_{\sigma_{0,2}}, \quad (1)$$

где $\bar{\sigma}_{0,2}, S_{\sigma_{0,2}}$ - соответственно среднее значение условного предела текучести и его среднеквадратическое отклонение по данным разных заводов-поставщиков.

Такая методика создает безопасные условия и позволяет одному лаборанту проводить испытания. При этом отпадает необходимость построения на стадии испытания общей диаграммы развития деформаций и отжимания упругой составляющей, что дает существенную экономию времени.

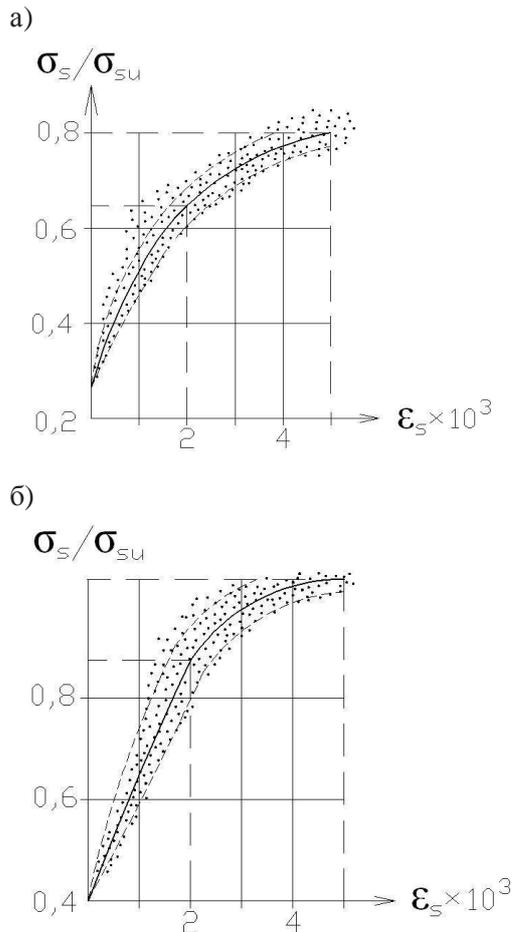


Рис. 1. Пластические деформации стали А-IV 20ХГ2Ц (А600) (а) и стали Атп-V 35ГС (А 800) (б) по данным экспериментальных исследований

Результаты входного контроля (табл.1) стержневой арматуры показали, что практически для всех сталей наблюдается снижение площади поперечного сечения стержня по отношению к номинальному с колебанием коэффициента вариации от 1,5 до 7,2 %.

Обобщенные данные входного контроля (табл.1) высокопрочной арматуры показывают достаточно высокую изменчивость (12% - 17%) прочностных характеристик сталей 20ХГ2Т, 20ХГ2Ц, 23ХГ2Т, что свидетельствует о нестабильности технологии изготовления этих сталей, которая должна отразиться на качестве выпускаемых железобетонных конструкций. Однако натурные испытания более 80% преднапряженных конструкций, армированных сталями указанных марок, дали положительные результаты. Это благополучие конструкций при нормативной необеспеченности механических характеристик сталей можно объяснить эффектом их упрочнения при электротермическом напряжении и

характером фактической диаграммы растяжения [2]. Таким образом, целесообразно при расчете железобетонных конструкций использовать фактические диаграммы деформирования арматуры и бетона, которые учитывают реальную технологию изготовления конструкций (режим ТВО, способ натяжения арматуры и другие факторы).

В настоящее время имеется немало предложений по описанию диаграмм состояния бетона и арматуры. Для анализа способов их описания использовался большой объем статистической информации по обработке экспериментальных данных, полученных на комбинате «Братскжелезобетон». При исследовании напряженного состояния железобетонных конструкций на основе нелинейно-деформационной модели, целесообразно использовать для описания диаграмм деформирования бетона и арматуры способ переменных секущих модулей, предложенный Карпенко Н.И., который обеспечивает лучшую сходимость итерационных процессов по сравнению с другими методами, исключая при этом необходимость решать сложные уравнения [4].

Аналитическая зависимость для описания диаграммы растяжения арматуры по способу секущих модулей имеет вид:

$$\sigma_s = E_s v_s \varepsilon_s, \quad (2)$$

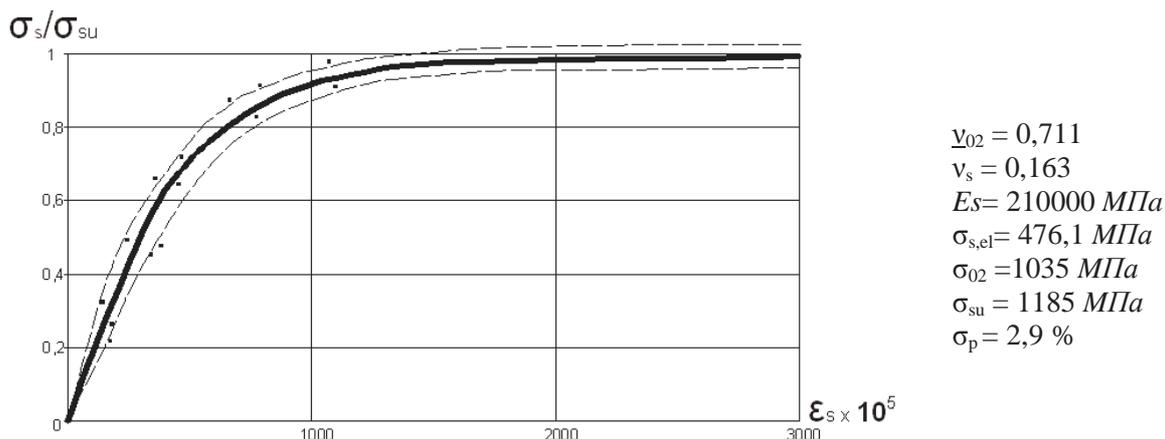
где σ_s, ε_s - напряжения и относительные деформации арматуры; E_s - начальный модуль упругости;

v_s - коэффициент изменения секущего модуля (коэффициент упругости).

$$v_s = \bar{v}_s + (v_0 - \bar{v}_s) \sqrt{1 - \omega_{1s} \eta_\sigma - \omega_{2s} \eta_\sigma^2}, \quad (3)$$

$$\text{где } 0 < \eta_b = \frac{\sigma_s - \sigma_{s,el}}{\sigma_s - \sigma_{s,el}}, \quad (4)$$

$\bar{\sigma}_s$ - напряжения в вершине диаграммы (временное сопротивление разрыву); $\sigma_{s,el}$ - предел упругости арматурной стали; \bar{v}_s - значение v_s при $\sigma_s = \bar{\sigma}_s$ (в вершине диаграммы); ω_{1s}, ω_{2s} - коэффициенты, характеризующие кривизну диаграммы, причем $\omega_{2s} = 1 - \omega_{1s}$. Из условия определенности функции (3) следует $\omega_{1s} \leq 2$.



Условные обозначения:

■ - экспериментальные точки; ---- - границы доверительного интервала обеспеченностью 0,98.

Рис. 2. Диаграмма растяжения арматуры $\phi 18$ Ат-V (А 800)

На рис.2 представлена графическая интерпретация описания диаграммы растяжения арматуры по способу Карпенко Н.И. с границами доверительного интервала который показывает удовлетворительную сходимость с обеспеченностью 0,98 с экспериментальными данными, полученными при испытании арматуры $\phi 18$ А 800.

Проблема дальнейшего совершенствования производства железобетона должна быть неразрывно связана с внедрением на заводах неразрушающих методов контроля качества выпускаемой продукции с помощью программных комплексов по оценке начальной надежности и долговечности конструкций массового заводского изготовления.

При этом в основу этой системы контроля должны быть положены вероятностные алгоритмы на основе фактических диаграмм деформирования бетона и арматуры, которые позволяют ежемесячно учитывать изменчивость технологического процесса [1,3,4]. Включение ЭВМ в технологический цикл позволит замкнуть круг производственного контроля вычислением параметров надежности

изготавливаемых железобетонных конструкций.

Литература

1. Коваленко Г.В., Самарин Ю.А. Варианты оценки начальной безотказности ребристых плит покрытия / Бетон и железобетон. – 1992. - №12. – С.2-4.
2. Самарин Ю.А., Коваленко Г.В. Оценка нормативной обеспеченности стержневой арматуры в стадии поставки / Бетон и железобетон. – 1986. - №12. – С.12-14.
3. Дудина И.В., Нестер Е.В. Методика натуральных испытаний железобетонных ребристых плит покрытия / Системы. Методы. Технологии. – 2011. - №1(9). – С.113-118.
4. Дудина И.В. Контроль качества сборных железобетонных конструкций на основе интегральной оценки их надежности / Диссертация на соискание ученой степени канд.тех.наук. – Братск: БрГТУ, 2000. – 202с.