

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

А. Б. ПИРАДОВ, Л. С. ШАКАРЯН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ СЦЕПЛЕНИЯ АРМАТУРЫ С ЛЕГКИМИ БЕТОНАМИ НА ПРИРОДНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

1. В Армянском НИИ стройматериалов и сооружений с 1963 г. начаты систематические исследования сцепления арматуры с бетоном, которые проводились как на призмах размером $10 \times 10 \times 40$ и $15 \times 15 \times 45$ см на выдергивание и продавливание арматурных стержней так и на балках $14 \times 24 \times 200$ см, подверженных изгибу (рис. 1). Вид приме-

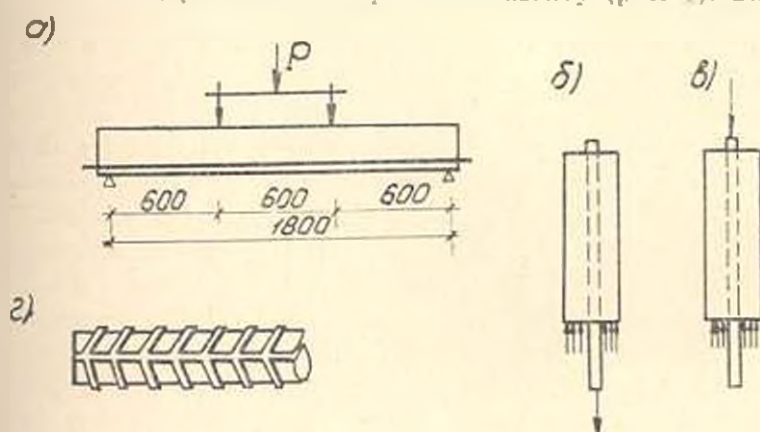


Рис. 1

няемых заполнителей и состава бетона с проектируемыми прочностями сведены в таблицы 1 и 4. Образцы из обычного бетона на кварцевом песке и базальтовом щебне были изготовлены как эталонные, для сравнения. Круглые стержни диаметром 8 и 12 мм, и также периодического профиля диаметром 12 мм были уложены в призмь размером $10 \times 10 \times 40$ см. Стержни периодического профиля диаметром 18 и 25 мм — в призмь размером $15 \times 15 \times 45$ см. Фиксирование стержней в форме производилось в торцах, путем пропуска их в торцевых плитах через специально высверленные в середине плиты отверстия. Для определения прочности бетона одновременно с призмами бетонировались кубики $10 \times 10 \times 10$ см. Укладка бетона производилась вибрированием на виброплощадке в течение 20 сек. Набор прочности бетона образцов осуществлялся двумя методами: нормально-влажностно-

Таблица 1

Вид бетона	Вид заполнителя	Маркировка образцов призм	Расход материалов на 1 м ³ бетона (кг)				Активность цемента кг/см ³
			цемент	песок	щебень	вода	
Легкий	Кармрашенский шлак	1 к; 1 ПК; 3 к; 3 ПК;	326	291	330	304	419
		4 к; 4 ПК; 5 к; 5 ПК;	402	350	245	373	419
	Литовская немол	7 л; 7 пл; 8 л; 8 пл;	158	550	630	152	419
		10 л; 10 пл; 11 л; 11 пл;	236	480	690	304	550
Тяжелый	Базальтовый щебень и кварцевый песок	16 л; 17 л	300	454	750	162	550
		13 г; 13 нг; 14 г; 14 нг	191	755	1190	190	419

стным хранением во влажных опилках в течение месяца; пропаркой в лабораторной пропарочной камере при температуре 85°С с режимом пропаривания 3—6+3 часа (эти образцы при маркировке обозначены буквой П). После месячного хранения во влажных опилках образцы хранились до срока испытания в лабораторном помещении. Там же хранились и образцы после пропарки. Образцы с арматурой диаметром 12 мм, испытывались в месячном возрасте. Основная серия, состоявшая из образцов всех диаметров, включая арматуру диаметром 12 мм, испытывалась в трехмесячном возрасте. В основном образцы испытывались на выдергивание стержней из призм. Только небольшое количество образцов было испытано на продавливание стержней (табл. 3). Все испытания призм проводились на 100-тонном прецизионном гидрокессе „Рейли“.

Для определения начала нарушения сцепления на нагруженном конце круглой арматуры устанавливался индикатор с ценой деления 0,01 мм.

Железобетонные балки армировались двумя стержнями периодического профиля диаметром 16 мм из стали класса А-II с пределом прочности $\sigma_s = 5300 \text{ кг/см}^2$ в растянутой зоне и двумя стержнями диаметром 8 мм из стали класса А-I в сжатой зоне. Кроме того балки армировались хомутами из арматуры диаметром 6 мм, с шагом хомутов для бетона М—100—110 мм, для бетона М—200—250 мм. Бетон балок изготовлялся в бетономешалке и укладка его производилась в металлические формы при помощи глубинного вибратора. Балки распалубывались через три дня после бетонирования и в течение месяца хранились во влажных опилках. После этого, вплоть до испытания, балки хранились в лабораторном помещении.

Испытание балок производилось в возрасте два месяца на гидрокессе ГРМ—1. Нагрузка передавалась в третьих пролета ступенями примерно 0,1 от разрушающей нагрузки с выдержкой на каждой ступени 15 минут. Замеры деформаций бетона производились тензодатчиками с базой 50 мм. Тензодатчики приклеивались по всей длине балки на уровне растянутой арматуры с шагом 50 мм. Кроме того по высоте балки замерялись деформации бетона для определения эпюры напряженного состояния при различных этапах загрузки. Тензодатчиками с базой 10 мм, приклеенными к арматуре до бетонирования и заизолированными эпоксидной мастикой, измерялись внутренние напряжения в арматуре, как в середине пролета, так и на опорных участках. Прогиб балки измерялся в середине пролета индикатором с ценой деления 0,01 мм. Для определения сдвига свободных концов рабочей арматуры по отношению к торцу балки на концах стержней были установлены аналогичные индикаторы. Балка под нагрузкой с установленными приборами приведена на рис. 2.

В процессе нагружения балки, после появления трещин: микроскопом определялось их раскрытие на уровне растянутой арматуры. Замерялось также расстояние между трещинами. Вместе с балками

испытывались контрольные бетонные кубики, призмы и восьмерки.

2. Результаты испытания сведены в таблицы 2 и 3. В таблицах приведенные значения являются средними, полученными по испытанию

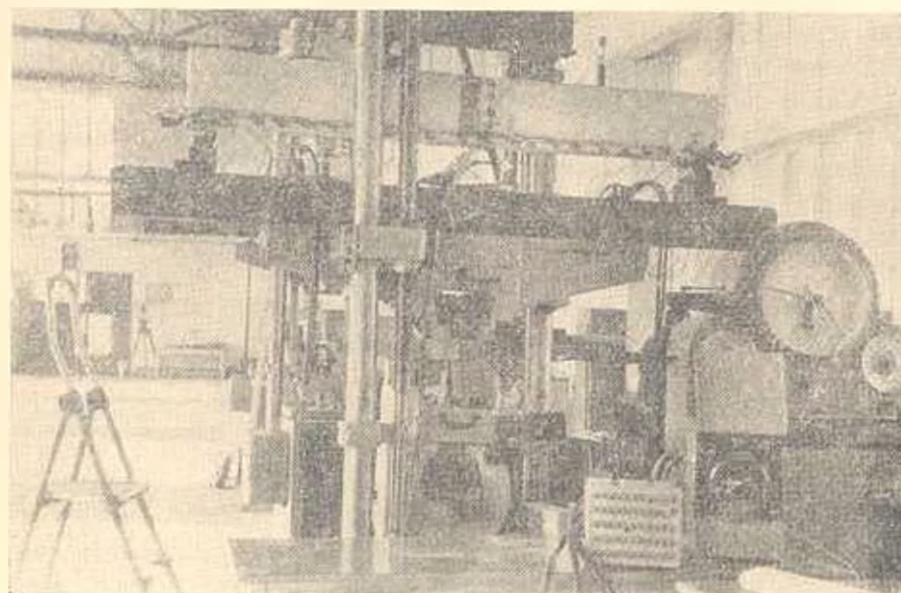


Рис. 2.

Таблица 3

Возраст образцов	Маркировка образцов	Размеры образцов	Прочность бетона в кг/см ²	Диаметр арматуры мм	$\frac{F_{\text{сц}}}{F_{\text{св}}}$ кг/см	$\frac{F_{\text{сц}}}{R}$	$\frac{F_{\text{пер}}}{F_{\text{сц}}}$	Способ испытания
16 лет	16 а	15×15×15	227	12 п	43,9	0,194	1,98	продавливание
		10×10×40		12 п	22,2	0,098		продавливание
		10×10×40		12 п	37,6	0,166	1,91	продавливание
		10×10×40		12 п	19,5	0,086		выдергивание
		15×15×45		12 п	36,7	0,162	1,97	выдергивание
		15×15×45		12 п	18,6	0,082		выдергивание
	17 а	15×15×45	213	12 п	37,9	0,167	1,89	продавливание
		15×15×45		12 п	20,0	0,088		продавливание
		10×10×40		18 п	61,3	0,27	—	выдергивание
		10×10×40		18 п	59,2	0,260		выдергивание
		15×15×45		8	56,4	0,248	—	продавливание
		10×10×40		8	52,1	0,230		выдергивание
17 лет	17 а	10×10×40	213	8	14,4	0,063	—	продавливание
		15×15×45			24,8	0,1165		выдергивание
		10×10×40		25 п	14,2	0,067	—	продавливание
		15×15×45			52,3	0,246		выдергивание

трех образцов. Как видно из табл. 2 с увеличением прочности бетона величина его сцепления с арматурой увеличивается. Вместе с тем, размер диаметра арматуры не оказывает существенного влияния на величину сцепления. Данные таблиц 2 и 3 в виде отдельных точек

Таблица 2

Месячного возраста									
Возраст образцов	Серия образцов	Прочность образцов кг/см ²	Диаметр арматуры, мм	$\sigma_{ср}$ кг/см ²	R	$\frac{\sigma_{ср}}{R}$	Возраст образцов	Серия образцов	Прочность образцов кг/см ²
3 к	3 к	74,6	12 н	27,6	0,434	4,02	1 к	1 к	76,6
3 пк	3 пк	74,6	12 н	30,3	0,406	4,02	1 пк	1 пк	76,6
5 к	5 к	79,5	12 н	19,7	0,246	3,5	4 к	4 к	160
5 пк	5 пк	111	12 н	26,3	0,272	4,06	4 пк	4 пк	136
8 к	8 к	91,2	12 н	18,0	0,307	6,4	7 к	7 к	122
8 пк	8 пк	113	12 н	4,35	0,048	6,4	7 пк	7 пк	94,5
10 к	10 к	158	12 н	29,1	0,263	5,24	11 к	11 к	152
10 пк	10 пк	170	12 н	7,25	0,054	5,3	11 пк	11 пк	120
14 к	14 к	82	12 н	29,3	0,185	3,95	13 к	13 к	154
14 пк	14 пк	75,3	12 н	7,8	0,162	3,95	13 пк	13 пк	104
трехмесячного возраста									
1 к	1 к	76,6	12 н	28,1	0,367	4,56	18 к	18 к	32,05
1 пк	1 пк	76,6	12 н	5,79	0,076	4,56	18 пк	18 пк	4,14
4 к	4 к	160	12 н	22,1	0,453	6,94	18 к	18 к	19,45
4 пк	4 пк	136	12 н	3,21	0,065	6,94	18 пк	18 пк	2,52
7 к	7 к	122	12 н	38,8	0,285	3,28	18 к	18 к	37,8
7 пк	7 пк	94,5	12 н	11,82	0,074	3,28	18 пк	18 пк	12,55
11 к	11 к	152	12 н	36,8	0,23	3,41	18 к	18 к	37,2
11 пк	11 пк	120	12 н	10,7	0,079	3,41	18 пк	18 пк	12,03
13 к	13 к	154	12 н	39,5	0,324	3,92	18 к	18 к	36,1
13 пк	13 пк	104	12 н	10,07	0,083	3,92	18 пк	18 пк	9,9
18 к	18 к	32,05	18 н	11,2	0,33	4,9	25 к	25 к	30,7
18 пк	18 пк	4,14	18 н	0,36	0,067	4,9	25 пк	25 пк	0,05
25 к	25 к	47,5	25 н	33,7	0,222	2,83	25 к	25 к	47,5
25 пк	25 пк	11,75	25 н	11,95	0,079	2,83	25 пк	25 пк	49,2
32 к	32 к	27,1	32 н	28,0	0,233	3,53	32 к	32 к	27,1
32 пк	32 пк	7,11	32 н	7,94	0,062	3,53	32 пк	32 пк	32,9
40 к	40 к	46,4	40 н	12,3	0,275	6,32	40 к	40 к	46,4
40 пк	40 пк	7,11	40 н	6,7	0,043	6,32	40 пк	40 пк	7,11
50 к	50 к	33,4	50 н	31,0	0,30	8,35	50 к	50 к	33,4
50 пк	50 пк	4,05	50 н	2,76	0,036	8,35	50 пк	50 пк	4,05

приведены на рис. 3. На рис. 3а представлены данные, полученные по исследованию 1963 г. [1]. Пунктирная линия, показанная на рис. 2а, соответствует уравнению $\tau_{\text{сш}}/R = 0,077$. Иная картина наблюдается при

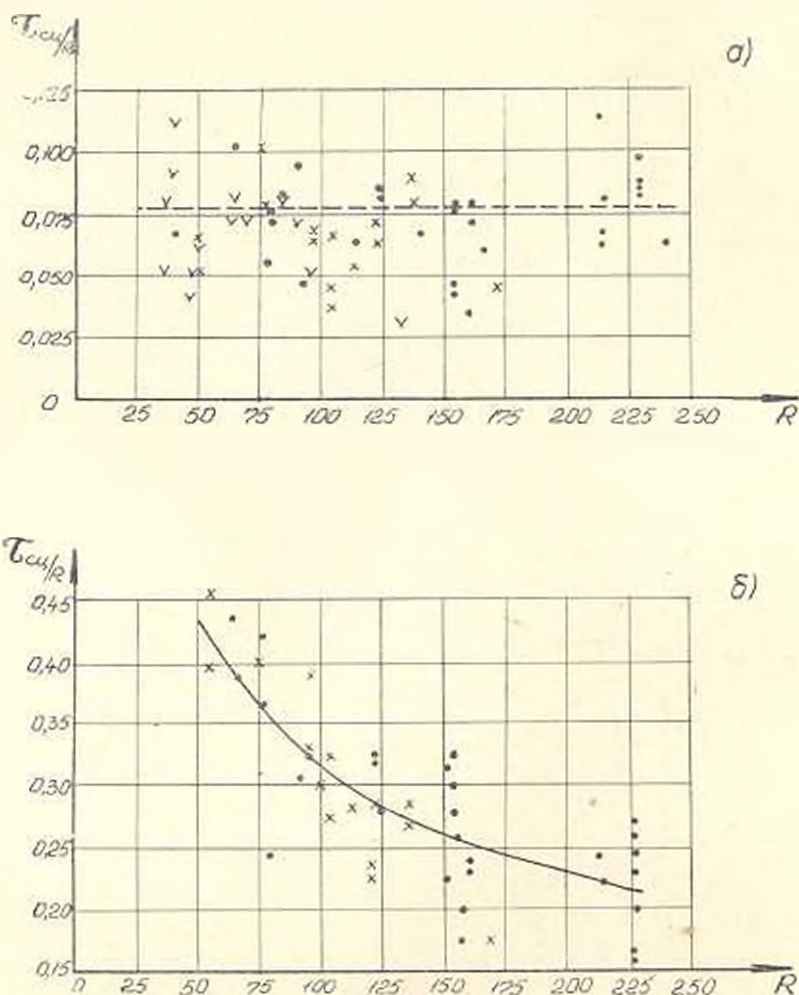


Рис. 3.

арматуре периодического профиля. Здесь с увеличением прочности бетона величина сцепления также увеличивается, но при этом отношение $\tau_{\text{сш}}/R$ падает. Экспериментальные точки нанесены на рис. 3б. Показанная кривая соответствует уравнению:

$$\frac{\tau_{\text{сш}}}{R} = \frac{70}{110 + R} \quad (1)$$

В опытах с арматурой периодического профиля также, как и с круглой арматурой, не было замечено существенного влияния изменения диаметра на величину сцепления. Здесь опять-таки лимитирующим является прочность самого бетона. Пропаренные образцы и образцы нормально-влажностного хранения всех диаметров и профилей дали при-

мерно одинаковую прочность сцепления в зависимости от полученной прочности бетона. На одной серии образцов (16 и 17 серии табл. 3) было изучено влияние размеров образцов на величину сцепления, а также изменение величины сцепления при испытании арматуры на выдергивание и продавливание. Изменение сечения бетона с 10×10 см на 15×15 см даст увеличение сцепления на 10%, что может быть объяснено влиянием усадки. При испытании арматурных стержней на продавливание величина сцепления, как и следовало ожидать по сравнению с испытанием на выдергивание, несколько увеличивается (на 2-8%), что является следствием поперечных деформаций арматурного стержня. Учитывая сказанное, при составлении графиков рис. 3, все полученные результаты собраны в один график без разделения на возрастные показатели, методы набора прочности бетона, диаметра арматуры, сечения и методики испытания.

3. Испытанию ж. б. балок предшествовало испытание контрольных кубиков, призм и шестерок, с целью определения характеристик бетона. Результаты испытания сведены в табл. 4. Как видно из табл. 4 с увеличением прочности бетона отношение R_p/R_{ap} уменьшается, что по всей вероятности, связано с пониженной прочностью легкого заполнителя на растяжение. С увеличением прочности бетона наблюдается увеличение прочности его на растяжение, что связано с увеличением объема цементного камня в бетоне. Упруго-пластический момент сопротивления легкого бетона W , принимался в зависимости от прочности бетона по данным, полученным А. Б. Пирадовым и А. А. Аракеляном.

Таблица 4

Вид заполнителя	Маркировка балок	Расход материалов на 1 м ³ бетона в кг				Кубиковая прочность кг/см ²	Призматическая прочность кг/см ²	Прочность бетона на растяжение кг/см ²	Модуль упругости секунд Е, 02	Коэффициент упругости	Пределная прочность бетона $\sigma \cdot 10^{-5}$	Активность цемента кг/см ²
		Ц	П	Щ	В							
Литоидная пемза	Б-1; Б-2	158	560	630	152	147	109	10,9	100 · 10 ³	0,98	214	550
	Б-3; Б-4	300	454	750	162	309	258	13,9	153 · 10 ³	0,98	314	550
	Б-5											

По замеренным деформациям средней зоны балок построены эпюры напряженного состояния для различных этапов загрузки (рис. 4). Переход от деформаций к напряжениям производился по формуле

$$\sigma_0 = \varepsilon_0 E_0, \quad (2)$$

где E_0 — модуль упругости бетона, полученный при испытании бетонных призм.

- ✓ коэффициент упругости бетона при сжатии, полученный также при испытании бетонных призм;
- полная деформация бетона, полученная при испытании балки.

Бетон марки „100“

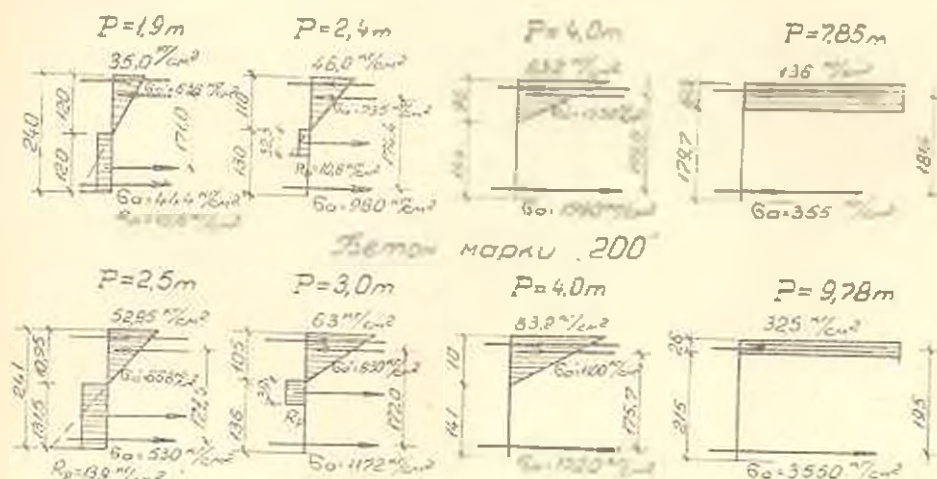


Рис. 4.

Момент трещинообразования определялся из условия равновесия (рис. 4). В практических расчетах для определения момента трещинообразования пользуются формулой [2].

$$M_T = R_p \left[F_{op} z_{op} + \frac{n}{\nu_p} \left(F_s z + F'_s \frac{x_T - a'}{n - x_T} z' \right) \right] \quad (3)$$

где R_p — предел прочности бетона на растяжение.

При заданной эпюре напряженного состояния (рис. 4) в выражении (3) неизвестным является только ν_p — коэффициент упругости бетона при растяжении.

Для обычного бетона СНиП рекомендует принимать значение $\nu_p = 0.5$ [3]. Для изученного состава легкого бетона значение ν_p определялось по формуле (3). Кроме того значение ν_p определялось из выражения:

$$\frac{1}{\nu_p} = \frac{\sigma_s}{n \cdot R_s} \quad (4)$$

усредненные значения ν_p , полученные по обоим методам равны: для балок 1 и 2 — 0,51, для балок 3, 4 и 5 — 0,36. Анализ полученных данных показывает, что при низких прочностях бетона (Б—1 и Б—2) значения ν_p совпадают с значениями, рекомендуемыми для обычного бетона. При более же высоких прочностях легкого бетона (Б—3, Б—4 и Б—5) значение ν_p уменьшается. Это подтверждает высказанное ранее соображение, что прочность на растяжение легкого бетона низких марок соответствует прочностям, полученным при растяжении обычного бетона. С увеличением же прочности легкого бетона проч-

ность на растяжение, по сравнению с обычными бетонами, уменьшается. Вместе с тем известно [4], что начало трещинообразования железобетонных балок на легких и тяжелых заполнителях имеют одинаковое значение.

При более высоких прочностях легкий бетон в железобетонных балках имеет более низкое значение коэффициента упругости, т. е. обладает большими пластическими деформациями, а следовательно и большим моментом сопротивления при растяжении. Это и подтверждается проведенными испытаниями.

Обработка результатов испытания балок для определения величины сцепления арматуры с бетоном производилась по известной тео-

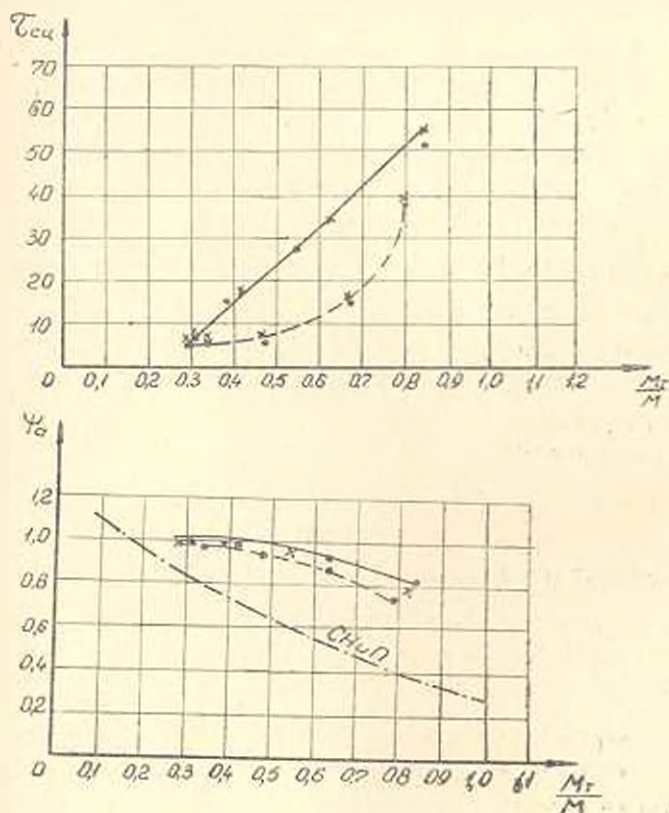


Рис. 5.

рии проф. В. И. Мурашева [2] с использованием имеющихся данных для легких бетонов, по следующей формуле:

$$\tau_{сщ} = \frac{K_1 \mu R_D}{l_1} \quad (5)$$

Значения коэффициентов, входящих в формулу (5) заимствованы из [2 и 3].

По данной методике для каждой балки определялось значение $\tau_{сщ}$ на всех этапах нагружения. Изменение значения $\tau_{сщ}$ и ψ_a в зави-

симости от отношения M_t/M приведено на рис. 5. Как видно из графика, максимальное сцепление между арматурой и бетоном наблюдается при нагрузке, соответствующей началу трещинообразования. При дальнейшем увеличении нагрузки трещины раскрываются и сцепление между трещинами начинает падать. Коэффициент ψ_2 , из опытов получился разным, при нагрузке соответствующей трещинообразованию, для бетона прочностью $147 \text{ кг/см}^2 - 0,7$; для бетона прочностью $309 \text{ кг/см}^2 - 0,8$. При дальнейшем увеличении нагрузки он постепенно увеличивается и достигает своего предельного значения $\psi_2 = 1$ при разрушении, т. е. тогда, когда сцепление полностью нарушено. На рис. 5 приведена также кривая изменения ψ_2 , рекомендуемая СНиП для обычного бетона [5]. Как видно из графика, значения ψ_2 для легкого бетона получились отличными от величин нормируемых СНиП. Это по всей вероятности связано с работой легкого бетона на растяжение и резким уменьшением сцепления при увеличении нагрузки.

Сравнивая полученные осредненные значения сцепления арматуры с бетоном при выдергивании стержней из призм с максимальными значениями сцепления при испытании балок на изгиб имеем:

для бетона прочностью 147 кг/см^2 — при выдергивании $\tau_{\text{ср}} = 39 \text{ кг/см}^2$; при изгибе $\tau_{\text{ср}} = 40 \text{ кг/см}^2$ (расхождение -20%);
для бетона прочностью 309 кг/см^2 — при выдергивании $\tau_{\text{ср}} = 62 \text{ кг/см}^2$; при изгибе $\tau_{\text{ср}} = 60 \text{ кг/см}^2$ (расхождение $+2,5\%$).

Армянский НИИ строительных материалов
и сооружений

Поступило 15.I 1965

Ա. Բ. ՔԻՐԱԼՈՎ, Լ. Ս. ՇԱԽՅՐՅԱՆ

ԱՐԴԱՆԻ ԵՎ ԲՆԱԿԱՆ ԼՅՈՉՆԵՐՈՎ ԻՆՏԵՆՍԻՎ ՈՒՏՈՂԱՆԵՐԻ ՀԱՐՈՎՅՈՒՆ ԱՐԴՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա Մ Վ Ո Փ Ո Ւ Ն

Հողվածում բերված են ամբողջական ձողերի և թևե ընտոնների հարակցման ամբողջական ուսումնասիրությունների արդյունքները: Ուսումնասիրությունները կատարվել են ընտոնի պրիզմաների վրա՝ ձողերի դուրս բաշումով և ծրաման ենթարկված հեծանների վրա, օգտագործվել են 75-ից մինչև 200 կգ/սմ² ամբողջական ընտոններ՝ լիթոնիզային պիմզայի լցիչով: Պրիզմաները փորձարկվել են մեկ ամսական և երեք ամսական հասակում, հեծանները՝ երկու ամսական: Պրիզմաները փորձարկելիս, դուրս բաշող և ճղմող ուժերի մեծությունները որոշելուց բացի, կյուր պրոֆիլի ձողերի համար որոշվել է նաև ձողի շրտոնավորված ծայրի տեղադրումն սկիզբը: Հեծանները փորձարկելիս չափվել են բետոնի պիֆորմացիաները, ինչպես հեծանի ողջ երկարությամբ՝ ձգվող ամրանի հարթության վրա, այնպես և ողջ բարձրությամբ՝ թաղի մեջտեղում:

Փորձարկումների արդյունքները բերված են աղյուսակ 2 և 3-ում, ինչպես նաև նկ. 3-ում: Դրանց հիման վրա (5) բանաձևով որոշվել են հարակցման ուժի մեծությունները՝ չա ինչպես նաև ψ_2 դորձակցի արժեքները:

Պրիզմաներից ձողերը դուրս բաշխվա ստացված հարակցման ուժերի մի-
ջինացված արժեքների և հեծանների փորձարկումներից ստացված հարակցման
ուժերը առաջնություն արժեքների համադրումը ապա ի լալ համընկնում
էյդ կապակցությունը, ամրանի և բետոնի հարակցման հարցերը ուսումնասի-
րելիս, կարող են պատահորժիկ և առաջարկվել բետոնն պրիզմաներից ձողերի
դուրս բաշխմից ստացված հարակցման ուժերի մեծությունները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Пирадова Л. Б. Исследование сцепления гладкой арматуры с бетоном на Кармы-
шенском шлаке. Журн. «Промышленность Армении», № 9, 1964.
2. Мурашев В. Н. Железобетонные конструкции. Госстройиздат, 1962.
3. Строительные нормы и правила. Часть II, раздел В, гл. 1, 1962.
4. Симонов М. Э. Бетон и железобетон на пористых заполнителях. Госстройиздат,
1955.
5. Петрова К. В. Деформации внецентренно сжатых элементов и стадии II. Сб. НИИЖБ
под ред. А. А. Гвоздева «Расчет конструирование элементов железобетонных
конструкций». Госстройиздат, 1964.