

ЗЕМЛЯНСКИЙ А. А.

ORCID: 0000-0003-3325-5037

ЖУКОВ А. Н.

ORCID: 0000-0003-1685-5516

БУЛАВИНА Д. А.

ORCID: 0000-0003-1626-2980



**Землянский
Анатолий
Андреевич**

доктор технических наук,
профессор, Балаковский
институт техники,
технологии и управления
(филиала) ГОУ ВПО СГТУ

e-mail: zeml_aa@mail.ru



**Жуков
Александр
Николаевич**

кандидат технических наук,
доцент, Пензенский
государственный
университет архитектуры
и строительства

e-mail:
zhukov.penza@yandex.ru



**Булавина
Дарья
Андреевна**

студентка, Пензенский
государственный
университет архитектуры
и строительства

e-mail:
ms.pankina.97@gmail.com

Опыт натурного испытания железобетонных ребристых плит

В работе представлены результаты полевого обследования и испытания железобетонной, ребристой преднапряженной плиты с использованием приборов неразрушающей дефектоскопии и магнитометрических методов определения фактического уровня напряженного состояния рабочей арматуры. Расчет некоторого образца из партии по 1-й и 2-й группе предельных состояний, а также оценка его несущей способности с использованием приборов неразрушающей дефектоскопии, основанном на эффекте Форстера. Сделано заключение о работоспособности всей конструкции в целом, а также даны рекомендации для дальнейшей эксплуатации изделия.

Ключевые слова: обследование, испытание, приборы неразрушающего контроля, магнитометрическая система мониторинга напряжения в арматуре.

ZEMLYANSKY A. A., ZHUKOV A. N., BULAVINA D. A.
EXPERIENCE OF FIELD TESTING CONCRETE PLATE BRAND

The paper presents the results of field examination and testing of reinforced concrete, ribbed prestressed plate with the use of nondestructive flaw detection devices and magnetometric methods for determining the actual level of stress state of the working reinforcement. Calculation of some sample from the batch for group 1 and 2 of limit states, as well as assessment of its load-bearing capacity using non-destructive flaw detection devices based on the Forster effect. The conclusion is made about the efficiency of the entire structure as a whole, as well as recommendations for further operation of the product.

Keywords: examination, testing, non-destructive testing devices, magnetic monitoring system voltage in the armature.

В 1990-х гг. в капитальном строительстве России имело место достаточно частое использование старых плит покрытия и перекрытия для нового строительства, что требует на практике обязательного тщательного обследования и предварительного испытания указанных плит в полевых условиях. Современные методы обследования и испытания несущих строительных конструкций, бывших в эксплуатации и предназначенных для повторного использования при строительстве других ответственных строительных объектов, имеют очень много особенностей, которые, по нашему мнению, следует в обязательном порядке учитывать при разработке детальной программы обследования и испытания указанных конструкций на практике в полевых условиях. Этому вопросу посвящена статья.

Исследованием НДС, а также несущей способности ребристых плит перекрытия экспериментальными методами занималось большое количество ученых. Началом исследований в области неразрушающего контроля считают

открытие в ноябре 1895 г. рентгеновских лучей, позволивших экспериментально определить наличие металлической детали в закрытом деревянном корпусе.

В 1928 г. С. Я. Соколовым был разработан и опробован метод ультразвуковой дефектоскопии, позже в 1952 г. С. Маховер и Ю. Усенко изобрели магнитографический метод неразрушающего контроля конструкций. Вопросами исследования и расчета несущих предварительно напряженных плит покрытия занимались А. И. Бедов, К. К. Нежданов, В. С. Абраштов, К. И. Еремин, В. Н. Кутуков, И. С. Гучкин и др.

В качестве основных конструкций покрытий и перекрытий промышленных зданий использовались ребристые предварительно напряженные плиты длиной 6–12 м и реже пустотные предварительно напряженные плиты длиной 6 м. Железобетонные плиты в промышленных зданиях отличались лишь по требованиям ответственности несущей способности. При этом при одинаковых внешних основных габарит-

ных размерах изменялось количество и диаметр арматурных стержней.

В нашем случае по результатам архивных данных установлено, что партия железобетонных ребристых плит размером 3×12 м для покрытия одноэтажных производственных зданий серии 1.465.1–15 [5] и марки — 2ПГ12-3ПВ была использована в 1991–1993 гг. при строительстве крупного завода по переработке кожаных изделий на территории Химзавода в г. Балаково. Однако после 1993 г. строительство было приостановлено, и возведенные корпуса стали разбираться, а несущие железобетонные колонны, фермы и плиты покрытия повторно использоваться при строительстве различных объектов в Балаково. Авторам данной работы поступило официальное задание выполнить комплексное обследование и испытание, в частности, больших размеров плит покрытия на предмет дальнейшего безаварийного использования при строительстве других промышленных объектов в Балаково.

Одновременно авторы установили фактические условия хранения изделий стройиндустрии до их обследования и испытания. После разбора недостроенных корпусов плиты покрытия складировались на открытой площадке без использования дополнительных средств защиты от атмосферных осадков и сезонного перепада температуры, а часть плит при хранении имела непроектное опирание. В результате у многих плит в середине рабочего ребра жесткости имеются трещины, раскрытие которых несколько увеличивается в сжатой зоне плиты покрытия. В целом, указанные плиты хранились на открытой площадке и не использовались по назначению более 22 лет.

Исследование проводилось в шесть основных этапов:

- разработка программы мероприятий по обследованию и испытанию плит;
- изучение сопровождающей изделия документации;
- описание условий хранения образцов;
- оценка внешнего вида;
- инструментальное обследование;
- проведение самого испытания с анализом и заключением о работоспособности элемента конструкции и дальнейшей ее эксплуатации.

Для оценки уровня остаточного ресурса рассматриваемых плит на первом этапе авторами разработана детальная программа обследования и испытания указанных плит, в которой отражены: объем и состав визуального обследования плит; состав и объем инструментального обследования плит; методика и последовательность испытания плит; перечень применяемого оборудования и приборов неразрушающего контроля качества, используемого материала в обследуемых плитах; методика обработки полученных результатов, а также методика оценки годности плит для дальнейшего использования в новом строительстве.

На втором этапе изучена вся проектная и техническая документация, имеющаяся на обследуемые плиты. В результате установлено, что дата изготовления плит и номер партии неизвестны. На плитах отсутствует какая-либо маркировка, что свидетельствует о некондиционности рассматриваемых плит. Более детальное изучение конструкции плит позволило установить, что данная партия плит относится к серии 1.465.1–15 [5], а конструктивные особенности обследуемых плит относятся к марке — 2ПГ12-3ПВ.

На третьем этапе установлены условия хранения плит до испытания. Плиты складировались на открытой площадке без использования дополнительных средств защиты от атмосферных осадков и сезонного перепада окружающей температуры.

На четвертом этапе в ходе визуального освидетельствования плит выявлено, что по геометрическим размерам, качеству бетонной поверхности и внешнему виду все плиты

соответствуют требованиям ГОСТ 28042–2013. При этом отклонения по длине плиты не превышают ± 10 мм, по высоте ± 5 мм, по толщине полки ± 3 мм, по ширине плиты ± 6 мм. Имеются усадочные трещины, ширина раскрытия которых не превышает 0,1 мм. В отобранной для испытания плите имеется трещина, раскрывающаяся в сжатой зоне до 0,2 мм, но при испытании плиты в проектом положении последняя по мере увеличения нагрузки закрылась. Одновременно в ходе визуального обследования плит установлено, что все выявленные дефекты: незначительные трещины, небольшие изъяны поверхности (сколы, раковины, каверны и незначительное расслоение бетона в сжатой зоне) — полностью соответствуют ограничительным требованиям ГОСТ 28042–2013. Кроме того, при визуальном обследовании плит выявлено, что на бетоне отсутствуют пятна ржавчины, зоны выщелачивания, сульфатации и карбонизации бетона, какие-либо отклонения и отличия диаметров и шага продольной и поперечной арматуры от требований проектной документации, в частности серии 1.465.1–15 [5]. Концы преднапряженной арматуры выходят за пределы торцевой части плит не более 10 мм и закрашены битумной мастикой для защиты от коррозии.

На пятом этапе выполнено инструментальное обследование плит, при котором использованы цифровые поверенные электронные приборы неразрушающей дефектоскопии и ряд механических методов неразрушающего контроля. В частности, для ультразвукового определения прочности бетона плиты использовался прибор марки «Пульсар 1.0», для склерометрического определения прочности бетона применялся прибор марки «Оникс 2.5», для определения толщины защитного слоя, диаметра и шага рабочей и конструктивной арматуры плиты использовались приборы марки ИПА МГ-4 и «Поиск 2.3», для определения влажности бетона — влагомер марки МГ-4.

В ходе неразрушающего контроля состояния плиты и оценки прочности бетона, толщины защитного слоя, влажности бетона, диаметра и шага рабочей и конструктивной арматуры выявлено, что все указанные параметры полностью соответствуют требованиям проектной документации на плиты и требованиям серии 1.465.1–15 [5]. При этом класс бетона по прочности на сжатие обследованных плит соответствует В30. Фактические прочностные характеристики бетона на день проведения испытания плиты равны $R_{сж} = 35\text{--}40$ МПа. Вид армирования и класс арматурной стали для рабочей арматуры — арматура в количестве четырех стержней (по два стержня в ребре) диаметром 25 мм класса АШВ. Фактические прочностные характеристики арматуры определены косвенно по твердости стали и соответствуют классу АШВ. По априорной информации выявлено, что по трещиностойкости обследуемые плиты относятся ко второй категории.

На шестом этапе выполнены все подготовительные мероприятия и проведено само испытание одной из отбракованных плит в полном соответствии с требованиями ГОСТ 8829–94 [4]. При этом принятая схема испытания полностью соответствовала требованиям нормативной документации. Масса плиты равна 7300 кг. На плите имелся слой утеплителя в виде керамзита толщиной 10–12 см (1500 кг) и слой цементно-песчаной стяжки толщиной 2–2,5 см (1500 кг). Масса загрузочных элементов состояла из типовых бетонных фундаментных блоков марки ФБС 24-3-6м массой 970 кг.

Контрольные значения нагрузок, указанных в проектной документации, были приняты следующими:

- по прочности $P_{контр} = 6,70$ кПа, при $c = 1,2$;
 $P_{контр} = 7,70$ кПа, при $c = 1,4$;
 $P_{контр} = 9,20$ кПа, при $c = 1,6$;
- по жесткости $P_{ж} = 2,60$ кПа;

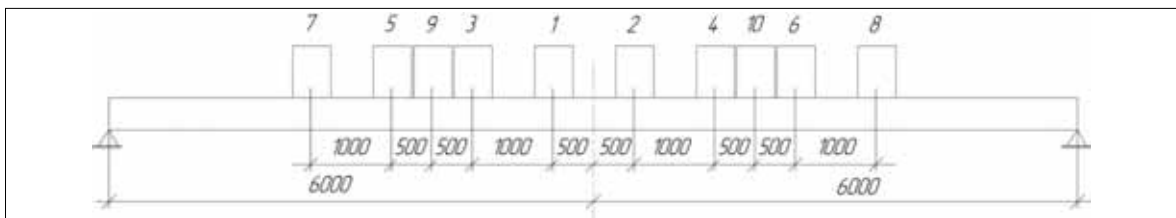


Иллюстрация 1. Расчетная схема испытания плиты марки 2ПГ12-3IIIв. Автор А. Н. Жуков



Иллюстрация 2. Последовательность загрузки плит. Фото А. А. Землянского



Иллюстрация 3. Схема измерения прогибов плиты в ходе испытания. Фото А. А. Землянского

- по образованию трещин $P_{1\text{тр}} = 2,30$ кПа;
- по ширине раскрытия трещин $P_{2\text{тр}} = 3,70$ кПа.

Контрольные значения прогибов и ширины раскрытия трещин, полученные при испытании плиты, не должны были превышать: $f_{\text{контр}} = 20$ мм, $a_{\text{контр}} = 0,25$ мм.

Испытание плиты выполнялось за счет статического нагружения плиты бетонными фундаментными блоками. При этом нагружение осуществлялось по ступеням, величина которых составляла 1/10 от базового значения максимальной нагрузки. Измерение прогибов в середине плиты выполнялось с помощью двух прогибомеров Максимова, установленных в середине плиты, строго по рабочим сторонам (с точностью 0,1 мм). Расчетная схема нагружения плиты фундаментными блоками в ходе испытания представлена на Иллюстрации 1.

Процедура испытания плиты и определения прогибов плиты с оценкой ширины раскрытия трещин и деформации преднапряженной рабочей арматуры в зоне анкеровки представлена на Иллюстрациях 2 и 3 и систематизирована по всем ступеням загрузки плиты в Таблице 1.

Детальный анализ результатов, полученных в ходе испытания плиты, позволил установить, что нагрузка соответствует началу образования первой волосяной трещины в нижней растянутой части середины ребра, жесткость плиты равна 3,26 кПа, что значительно больше, чем регламентировано требованиями серии 1.465.1–15 [5], в частности, по проектной документации, первая волосяная

Таблица 1. Результаты испытания плиты на прогибы

Количество блоков нагрузки	В пересчете на экв. нагрузку, кг/кв. м	Показание прогибомера № 1	Прогиб по ребру № 1, мм	Показание прогибомера № 2	Прогиб по ребру № 2, мм	Средний прогиб, мм
0		0,053	0	0,092	0	0
1	11,2	0,198	1,45	0,347	2,55	1,35
2	137,2	0,497	4,44	0,621	5,29	4,87
3	164,2	0,838	7,85	0,924	8,32	8,09
4	191,2	1,179	11,26	1,226	11,34	11,30
5	218,2	1,454	14,01	1,453	13,61	13,81
6	242,2	1,725	16,72	1,700	16,08	16,40
7	272,2	1,930	18,77	1,878	17,86	18,32
8	299,2	2,149	20,96	2,085	19,90	20,43
9	326,2	2,525	24,72	2,402	23,10	23,91
10	353,2	2,870	28,17	2,725	26,33	27,25
10, после 30 мин выдержки	353,2	3,057	30,04	2,885	27,93	28,99

трещина должна была появиться при нагрузке $P_{1\text{тр}} = 2,30$ кПа. При этом при нагружении плиты до $P_{2\text{тр}} = 3,70$ кПа указанная трещина не достигла предельной ширины, равной $a_{\text{контр}} = 0,25$ мм, а составила всего 0,20 мм. Прогиб при соответствующей контрольной нагрузке по жесткости $P_{\text{ж}} = 2,60$ кПа составил всего 18,32 мм, что также значительно ниже, чем допускаемый прогиб, равный в рассматриваемом случае $f_{\text{контр}} = 20$ мм. Наконец, смещение концов рабочей арматуры в торце плиты составило 0,01 мм, что ниже предельно допускаемого значения, равного 0,10 мм. Измерение указанного параметра осуществлялось с по-

мощью индикатора часового типа с ценой деления 0,001 мм.

Кроме отмеченного, при испытании плиты авторами использован магнитометрический метод определения напряженно-деформированного состояния рабочей арматуры плиты с помощью магнитоупругого датчика (разработан А. А. Землянским [9]), который основан на эффекте Форстера. Суть заключается в классической зависимости относительной магнитной проницаемости ферромагнитных сред, в частности, металла, от действующих напряжений.

Так как зависимость изменения измеряемых токовых сигналов от изменения действующих в материале

напряжений является нелинейной, можно вычислить остаточные напряжения в материале объекта и историю его нагружения путем определения характерных углов наклона тарировочной кривой на выделенных участках (после искусственного — незначительного нагружения или разгрузки исследуемого объекта) и сопоставления их с фактическими результатами измерения НДС.

Рассматриваемое экспериментальное исследование плиты с применением магнитных методов для анализа НДС и остаточных напряжений арматуры плиты, которая длительное время находилась в сложных метеорологических условиях на открытом воздухе в течение более 20 лет, является уникальным для строительной отрасли.

В нашем случае это позволило в первом приближении установить уровень напряжения в рабочей арматуре, который составил в рассматриваемом случае не более 400 МПа при нагрузке $P_{2\text{тр}} = 3,53$ кПа, что полностью подтверждает высокий уровень эксплуатационной надежности испытываемой плиты.

Заключение

Полный анализ результатов, полученных в ходе детального освидетельствования и полевого испытания плиты, позволил установить, что испытанная плита проходит как по первому, так и по второму предельному состоянию и даже имеет некоторый запас прочности, несмотря на то, что рассматриваемые плиты хранились под открытым небом в течение 22 лет. При этом прочность бетона не снизилась, а наоборот, несколько увеличилась. Характеристики арматуры, включая элемент совместной работы арматуры и бетона, также не претерпели каких-либо ощутимых негативных изменений, что объясняется, вероятно, только тем, что плиты хранились не в агрессивной среде, а в благоприятных для бетона условиях. Учитывая все отмеченное, в рассматриваемом случае можно признать, что техническое состояние плит является абсолютно работоспособным, согласно требованиям ГОСТ 8829–94 [4] и ГОСТ 31937–2011 [2], а также РД ЭО 0462–03 [3], кроме того, полученные положительные результаты испытания можно распространить на все плиты рассматриваемой партии.

Список использованной литературы

- 1 СП 13-102-2003 Правила обследования несущих строительных кон-

- струкций зданий и сооружений / Госстрой России. — М., 2011. — 27 с.
- 2 ГОСТ 31937–2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. — М.: Стандартинформ, 2014. — 55 с.
- 3 РД ЭО 0462–03 Методика по обоснованию срока службы строительных конструкций зданий и сооружений атомных станций. — М.: ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2015. — 40 с.
- 4 ГОСТ 8829–94 Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытания нагружением, правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости. — М.: Изд. МНТКС, 1994. — 14 с.
- 5 Серия 1.465.1–15 Плиты железобетонные ребристые размером 3×12 для покрытия одноэтажных промышленных предприятий. — М.: Госстрой СССР, 1990. — 15 с.
- 6 ГОСТ 17624–87 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности бетона. — М.: Госстрой СССР, 1988. — 23 с.
- 7 ГОСТ 22690–88 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. — М.: Госстрой СССР, 1988. — 21 с.
- 8 ГОСТ 22904–93 Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры. — М.: Госстрой России, 1993. — 27 с.
- 9 Магнитоупругий датчик: пат. 2295118 РФ № 2005140216/Землянский А.А.; заявл. 22.12.2017; опубл. 10.03.2007.
- 10 Оценка технического состояния, восстановления и усиления строительных конструкций инженерных сооружений / Под ред. В.С. Плевкова. — М.: АСВ, 2011. — 316 с.
- 11 Заикин А.И. Проектирование железобетонных конструкций многоэтажных промышленных зданий (примеры расчета). — М.: АСВ, 2005. — 200 с.

References

- 1 SP 13-102-2003 Pravila obsledovaniya nesushchih stroitel'nykh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij / Gosstroj Rossii. — M., 2011. — 27 s.
- 2 GOST 31937–2011 Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya. — M.: Standartinfor, 2014. — 55 s.
- 3 RD EO 0462–03 Metodika po obosnovaniyu sroka sluzhby stroitel'nykh konstrukcij zdaniy

- i sooruzhenij atomnykh stancij. — M.: ОАО «Концерн Росэнергоатом», 2015. — 40 s.
- 4 GOST 8829–94 Izdeliya stroitel'nye zhelezobetonnye i betonnye zavodskogo izgotovleniya. Metody ispytaniya nagruzheniem, pravila ocenki prochnosti, zhestkosti i treshchinostojkosti. — M.: Izd. MNTKS, 1994. — 14 s.
- 5 Seriya 1.465.1–15 Plity zhelezobetonnye rebristye razmerom 3×12 dlya pokrytiya odnoetazhnykh promyshlennykh predpriyatij. — M.: Gosstroj SSSR, 1990. — 15 s.
- 6 GOST 17624–87 Betony. Ul'trazvukovoy metod opredeleniya prochnosti betona. — M.: Gosstroj SSSR, 1988. — 23 s.
- 7 GOST 22690–88 Betony. Opredelenie prochnosti mekhanicheskimi metodami nerazrushayushchego kontrolya. — M.: Gosstroj SSSR, 1988. — 21 s.
- 8 GOST 22904–93 Konstrukcii zhelezobetonnye. Magnitnyy metod opredeleniya tolshchiny zashchitnogo sloya betona i raspolozheniya armatury. — M.: Gosstroj Rossii, 1993. — 27 s.
- 9 Magnitoupugij datchik: pat. 2295118 RF № 2005140216 / Zemlyanskij A.A.; zayavl. 22.12.2017; opubl. 10.03.2007.
- 10 Ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya, vosstanovleniya i usileniya stroitel'nykh konstrukcij inzhenernykh sooruzhenij / Pod red. V.S. Plevkova. — M.: ACB, 2011. — 316 s.
- 11 Zaikin A.I. Proektirovanie zhelezobetonnykh konstrukcij mnogoetazhnykh promyshlennykh zdaniy (primery rascheta). — M.: ASV, 2005. — 200 s.

Anatoly Zemlyansky

Doctor of Technical Sciences, Professor, Balakovo Institute of Engineering, Technology and Management (affiliate) GOU VPO SSTU
e-mail: zeml_aa@mail.ru

Alexander Zhukov

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Penza State University of Architecture and construction
e-mail: zhukov.penza@yandex.ru

Daria Bulavina

Student, Penza State University of Architecture and construction
e-mail: ms.pankina.97@gmail.com

Статья поступила в редакцию в августе 2019 г.

Опубликована в декабре 2019 г.