

DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-3-47-53

*Крылов В.В. *, аспирант,
Московский государственный строительный университет, Россия,
Саркисов Д.Ю., кандидат технических наук, доцент,
Эргешов Э.Т.,
Томский государственный архитектурно-строительный университет, Россия,
Евстафьева Е.Б., научный сотрудник,
Московский государственный строительный университет, Россия*
Ответственный автор E-mail: albet-group@yandex.ru

ПРОГРАММА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БЕЗБАЛОЧНЫХ ПЛИТ НА ПРОДАВЛИВАНИЕ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ. КОНСТРУКЦИЯ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ

Аннотация: в данной статье представлена программа экспериментального исследования поведения железобетонных плит при продавливании в режимах статического и кратковременного динамического нагружения. На опасных производственных объектах всегда существует повышенная вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций аварийного характера, приводящих к взрывам и характеризующиеся резким нарастанием фронта, коротким сроком действия и волновым характером. С учетом размещения сложных технологических процессов в зданиях в настоящее время требуется реализовывать «гибкие» объемно-планировочные решения, например, применение безбалочных перекрытий. Необходимость выполнения данных исследований также обусловлена отсутствием методик и нормативных документов, регламентирующих расчет на продавливание безбалочных монолитных плит при динамическом нагружении. Целью и задачами данной программы являются: оценка влияния толщины плитной части образцов и класса бетона на прочность и трещиностойкость элементов, получение новых опытных данных, характеризующих процессы, возникающие в бетоне и арматуре, выявление схем разрушения образцов. Испытание проводилось на испытательном стенде на базе копровой установки. Выбор размеров опытных образцов обусловлен техническими характеристиками данной установки, задачами эксперимента, возможностями изготовления и испытания моделей, получением при испытаниях достаточно надежных значений исследуемых параметров. Двенадцать образцов испытывались на кратковременную динамическую нагрузку и четыре образца при статическом нагружении. При этом варьируются следующие параметры: класс бетона (B15 и B20) и толщина плитной части образца (100 мм и 120 мм). В статье представлено описание размеров, армирования, классов бетона исследуемых образцов, последовательность проведения работ при изготовлении образцов с учетом установки тензодатчиков. Результатом данной работы является разработка методики испытания опытных образцов.

Ключевые слова: опытные образцы, динамическая нагрузка, безбалочная плита, продавливание, армирование, класс бетона, толщина, копровая установка

Введение

На опасных производственных объектах всегда существует повышенная вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций аварийного характера, приводящих к взрывам и воздействиям кратковременных динамических нагрузок на строительные конструкции и характеризующиеся резким нарастанием фронта, коротким сроком действия и волновым характером.

Сложность процессов, возникающих в железобетонных конструкциях при кратковременных динамических нагрузках, особенно в пластической стадии работы материала, делает неотъемлемой частью работы по проектированию таких конструкций экспериментальные исследования и дальнейший анализ полученных результатов [1, 2].

С учетом размещения сложных технологических процессов в зданиях в настоящее время требуется реализовывать «гибкие» объемно-планировочные решения, например, применение безбалочных перекрытий. В связи с этим были запланированы исследования железобетонных элементов на продавливание при статическом и кратковременном динамическом нагружении [3]. Необходимость выполнения данных исследований также обусловлена отсутствием методик и нормативных документов, регламентирующих расчет на продавливание безбалочных монолитных плит при динамическом нагружении [4].

Экспериментальные исследования большинства авторов были направлены на получение эмпирических зависимостей для продавливающего усилия в бетоне с учетом прочности бетона, наличия или отсутствия

изгибающих моментов, геометрии плит и площадок передачи нагрузок, расстояния от опор до штампа, типа и концентрации армирования, нагельного эффекта в арматуре, формы поверхности пирамиды продавливания, последовательности и характера трещинообразования и т.д.

Также необходимо отметить, что имеющиеся исследования проводились для статического нагружения, когда нагрузка во времени постоянна. Вопрос рассмотрения динамического нагружения не поднимался вплоть до конца 20 века. Связано это с развитием теории прочности железобетонных конструкций, а также необходимостью решения конкретных задач, диктуемых перспективами завтрашнего дня, в том числе по обеспечению требований механической безопасности, регламентируемых действующим Федеральным законодательством.

В рамках исследования несущей способности монолитных железобетонных плит на продавливание при динамическом нагружении предусмотрено проведение экспериментальных исследований, целью которых является изучение поведения железобетонных плитных элементов при продавливании в режимах статического и кратковременного динамического нагружения при варьировании толщины и класса бетона.

При проведении экспериментальных исследований ставились следующие цели и задачи:

- оценить влияние толщины плитной части образца и класса бетона на прочность и трещиностойкость элементов;
- получить новые опытные данные, характеризующие процесс сопротивления железобетонных элементов, развитие деформаций бетона и арматуры на различных стадиях деформирования образцов в процессе статического и кратковременного динамического нагружений;
- выявить схемы разрушения экспериментальных образцов;
- получить необходимые для расчета предпосылки.

Методы и материалы

Для достижения поставленной цели была разработана программа эксперимента, которая предполагала испытание шестнадцати железобетонных образцов по каждому классу бетона (рис. 1). Испытание проводилось на испытательном стенде на базе копровой установки в лаборатории испытания строительных конструкций кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Томского государственного архитектурно-строительного университета и состоящей из направляющих, жестко прикрепленных к силовому полу для обеспечения жесткого закрепления, по которым свободно перемещается нагружающий элемент массой 475 т [5].

Выбор размеров опытных образцов обусловлен техническими характеристиками данной установки, задачами эксперимента, возможностями изготовления и испытания моделей, получением при испытаниях достаточно надежных значений исследуемых параметров рис. 1.

Программа экспериментальных исследований								
Тип образца	Класс бетона							
	B15				B20			
	Динамические			Статич.	Динамические			Статич.
h=100 мм	Д ^{B15} _{h100-1}	Д ^{B15} _{h100-2}	Д ^{B15} _{h100-3}	С ^{B15} _{h100-1}	Д ^{B20} _{h100-1}	Д ^{B20} _{h100-2}	Д ^{B20} _{h100-3}	С ^{B20} _{h100-1}
h=120 мм	Д ^{B15} _{h120-1}	Д ^{B15} _{h120-2}	Д ^{B15} _{h120-3}	С ^{B15} _{h120-1}	Д ^{B20} _{h120-1}	Д ^{B20} _{h120-2}	Д ^{B20} _{h120-3}	С ^{B20} _{h120-1}

где С (Д) – статика (динамика); h100(h120) – высота плитной части в мм; B15 (B20) – класс бетона; 1 (2,3) – порядковый номер образца
Всего 16 образцов: 12 – для испытания на кратковременную динамическую нагрузку, 4 – для испытания на статическую нагрузку

Рис. 1. Программа экспериментальных исследований

Fig. 1. Experimental research program

Двенадцать образцов испытывались на кратковременную динамическую нагрузку и четыре образца при статическом нагружении, при этом варьируются следующие параметры: класс бетона (B15 и B20) и толщина плитной части образца (100 мм и 120 мм).

В процессе проведения эксперимента была принята следующая маркировка образцов:

$$D(C)_{h100(h120)}^{B15(B20)} - 1(2,3),$$

где Д или С – динамические или статические испытания; B15 или B20 – класс бетона; h100 или h120 – толщина плитной части образца (100 мм или 120 мм); 1, 2, 3 – порядковый номер элемента.

Экспериментальные образцы включали в себя плитную и колонную части и моделировали узел опирания плиты на колонну в безбалочном безкапитальном перекрытии. Образцы изготавливались двух типов, которые отличались толщиной плитной части.

Образцы первого типа:

- размер плитной части 600х600 мм, толщина 100 мм;
- колонная часть: размеры поперечного сечения 100х100 мм, высота 220 мм.

Образцы второго типа:

- размер плитной части 600х600 мм, толщина 120 мм;
- колонная часть: размеры поперечного сечения 100х100 мм, высота 200 мм. Общая высота образцов обоих типов составляла 320 мм.

Опалубочные чертежи образцов и их общий вид приведены на рис. 2.

Армирование экспериментальных образцов выполнялось следующим образом. Плитная часть была армирована в верхней и нижней частях арматурными сварными сетками со стержнями диаметром 8 мм класса А500 в обоих направлениях, установленных с шагом 100 мм. Армирование колонной части образца было выполнено пространственным сварным каркасом. По углам было установлено четыре продольных стержня диаметром 8 мм класса А500 длиной 240 мм, которые были объединены хомутами из арматуры диаметром 6 мм класса А240, установленными с шагом 50 мм в количестве 3 штук. Схема армирования экспериментальных образцов и общий вид каркасов представлены на рис. 3.

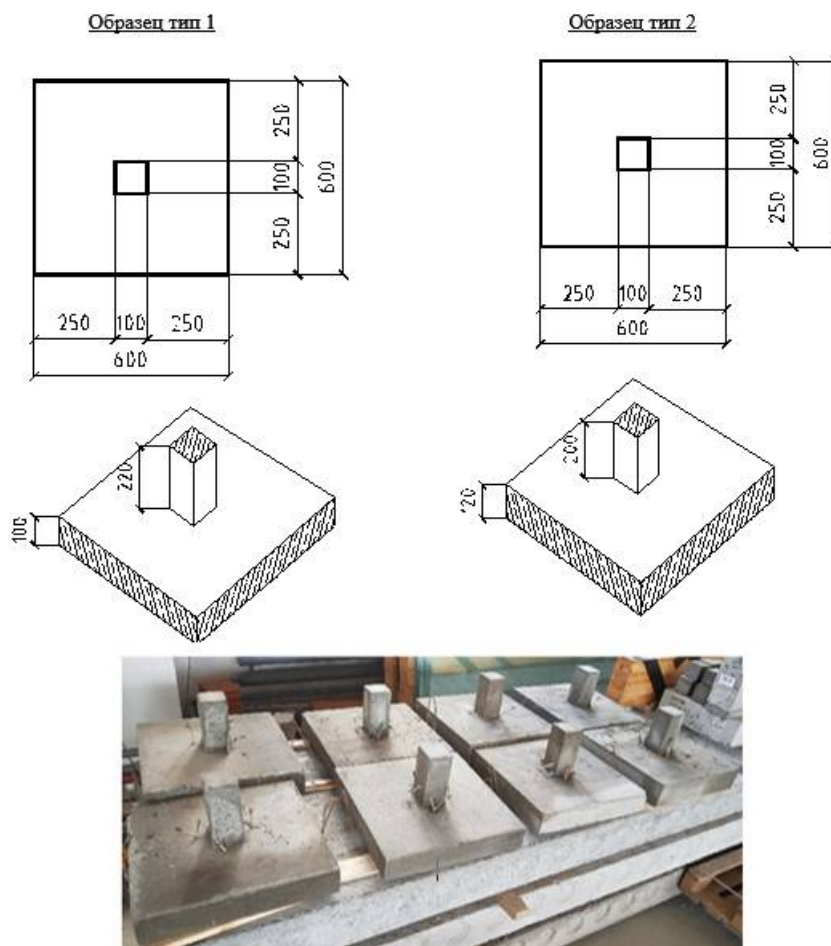


Рис. 2. Опалубочные чертежи экспериментальных образцов. Общий вид
Fig. 2. Formwork drawings of experimental samples. General form

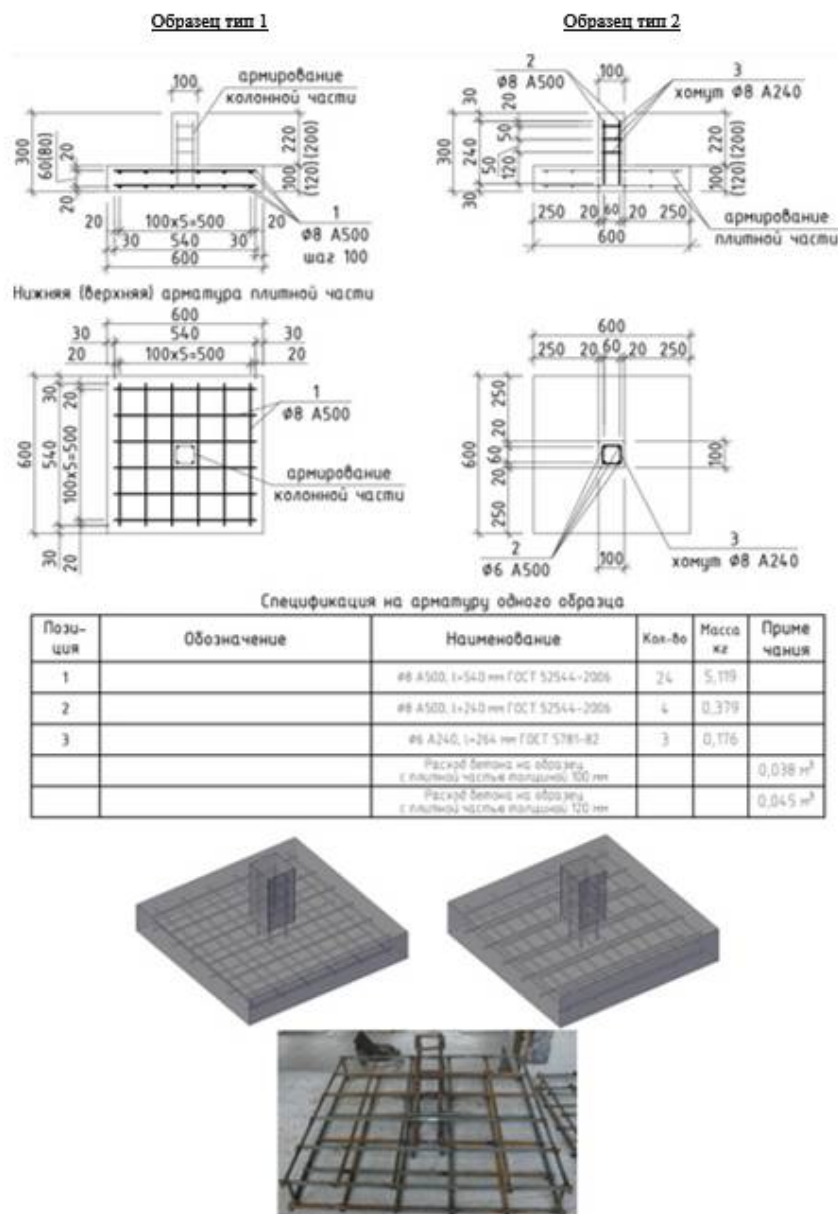


Рис. 3. Армирование экспериментальных образцов
Fig. 3. Reinforcement of experimental samples

По изготовлению экспериментальных образцов была реализована следующая последовательность работ:

- изготовление на заводе арматурных каркасов, транспортировка их в лабораторию;
- наклейка тензорезисторов на арматурные стержни, устройство выпусков и гидроизоляции тензодатчиков [6]. При установке тензорезисторов на арматуру использовалась специальная методика, направленная на повышение живучести датчиков в процессе изготовления образцов (заливки бетона) и испытания;
- транспортировка на завод для бетонирования.

Бетонирование экспериментальных образцов осуществлялось сериями по два образца. Всего было залито 8 серий образцов. Распределение образцов по сериям и даты заливки представлены в табл. 1.

Далее образцы транспортировались в лабораторию, где производилась наклейка тензорезисторов на бетон.

Схема расстановки тензорезисторов на бетоне и арматуре представлена на рис. 4.

Таблица 1

Распределение образцов по сериям и даты заливки

Table 1

Distribution of samples by series and dates of filling

№ серии	Маркировка образцов серии	Дата бетонирования
1 серия	$D_{R100}^{B20} - 2$; $D_{R120}^{B20} - 2$	10.08.19
2 серия	$D_{R100}^{B15} - 2$; $D_{R120}^{B15} - 2$	30.07.19
3 серия	$D_{R100}^{B15} - 3$; $D_{R120}^{B15} - 3$	31.07.19
4 серия	$C_{R100}^{B20} - 1$; $C_{R120}^{B20} - 1$	12.08.19
5 серия	$D_{R100}^{B15} - 1$; $D_{R120}^{B15} - 1$	06.08.19
6 серия	$C_{R100}^{B15} - 1$; $C_{R120}^{B15} - 1$	08.08.19
7 серия	$D_{R100}^{B20} - 3$; $D_{R120}^{B20} - 3$	14.08.19
8 серия	$D_{R100}^{B20} - 1$; $D_{R120}^{B20} - 1$	17.08.19

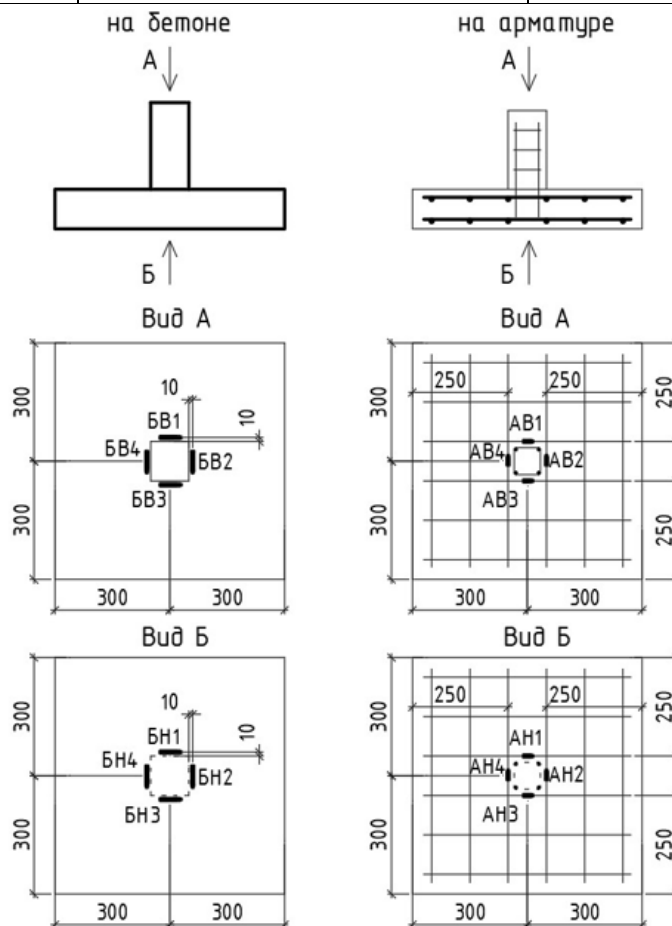


Рис. 4. Схема расстановки тензорезисторов на бетоне и арматуре: В – тензорезистор на бетоне, А – тензорезистор на арматуре, В – верхний, Н – нижний, 1...4 – порядковый номер тензорезистора
Fig. 4. The arrangement of strain gauges on concrete and reinforcement: В – strain gauge on concrete, А – strain gauge on reinforcement, В – upper, Н – lower, 1...4 – serial number of the strain gauge

С целью определения класса бетона экспериментальных образцов по прочности на сжатие были произведены испытания контрольных кубов размерами 100x100x100 мм, которые изготавливались в количестве 3 штук для каждой серии (всего 8 серий). Экспериментальные образцы и контрольные твердели в одинаковых естественных условиях ($t=16\dots 200^{\circ}\text{C}$; $W=60\%$) не менее 28 суток после изготовления. Испытания были произведены согласно ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». Проводились испытания на 250-тонном гидравлическом прессе в лаборатории кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Томского государственного архитектурно-строительного университета. Нагружение образцов производилось непрерывно с постоянной скоростью нарастания нагрузки до их разрушения. Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принималось за разрушающую нагрузку.

Результатом программы экспериментальных исследований несущей способности безбалочных плит на продавливание при динамическом нагружении является разработка методики испытаний опытных образцов.

Литература

1. Однокопылов Г.И., Саркисов Д.Ю. Оценка параметров разрушающей нагрузки при ударно-волновом нагружении для ответственных строительных конструкций сооружений нефтегазового комплекса // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. №3. С. 89 – 95.
2. Однокопылов Г.И., Саркисов Д.Ю., Бутузов Е.А. Оценка степени живучести ответственных строительных конструкций при ударно-волновом нагружении // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. №12. С. 122 – 135.
3. Трекин Н.Н., Крылов В.В. К вопросу о несущей способности железобетонных плит на продавливание при динамическом нагружении на объектах наземной космической инфраструктуры // Научный аспект. 2018. Т. 7. №4. С. 771.
4. Крылов В.В. Проверка несущей способности монолитной железобетонной плиты на продавливание при действии динамической нагрузки // Научный аспект. 2019. Т. 3. №. 3. С. 320 – 325.
5. Установка для экспериментальных исследований строительных конструкций: пат. 66534 Рос. Федерация: МПК G01N 3/00/ Плевков В.С., Однокопылов Г.И., Саркисов Д.Ю., Тигай О.Ю., Однокопылова О.А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ТГАСУ», № 2007110136, заявл. 19.03.2007, опубл. 10.09.2007.
6. Тензодатчик: пат. 62234 Рос. Федерация: МПК G01B 7/16/Плевков В.С., Однокопылов Г.И., Луков С.А., Саркисов Д.Ю., Тигай О.Ю., Однокопылова О.А., заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ТГАСУ» № 2006141682, заявл. 24.11.2006, опубл. 27.03.2007.

References

1. Odnokopylov G.I., Sarkisov D.Ju. Ocenka parametrov razrushajushhej nagruzki pri udarno-volnovom nagruzenii dlja otvetstvennyh stroitel'nyh konstrukcij sooruzhenij neftegazovogo kompleksa. Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2017. 328 (3). P. 89 – 95. (rus.)
2. Odnokopylov G.I. Sarkisov D.Ju., Butuzov E.A. Ocenka stepeni zhivuchesti otvetstvennyh stroitel'nyh konstrukcij pri udarno-volnovom nagruzenii. Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2018. 329. №12. P. 122 – 135. (rus.)
3. Trekin N.N., Krylov V.V. K voprosu o nesushhej sposobnosti zhelezobetonnyh plit na prodavlivanie pri dinamicheskom nagruzenii na ob#ektah nazemnoj kosmicheskoy infrastruktury. Nauchnyj aspekt. 2018. 7 (4). P. 771. (rus.)
4. Krylov V.V. Proverka nesushhej sposobnosti monolitnoj zhelezobetonnoj plity na prodavlivanie pri dejstvii dinamicheskoy nagruzki. Nauchnyj aspekt. 2019. 3 (3). P. 320 – 325. (rus.)
5. Ustanovka dlja jeksperimental'nyh issledovanij stroitel'nyh konstrukcij: pat. 66534 Ros.Federacija: MPK G01N 3/00/ Plevkov V.S., Odnokopylov G.I., Sarkisov D.Ju., Tigaj O.Ju. Odnokopylova O.A.; zajavitel' i patentoobladatel' GOU VPO «TGASU», № 2007110136, zajavl. 19.03.2007, opubl. 10.09.2007. (rus.)
6. Tenzodatchik: pat. 62234 Ros. Federacija: MPK G01B 7/16/Plevkov V.S., Odnokopylov G.I., Lukov S.A., Sarkisov D.Ju., Tigaj O.Ju., Odnokopylova O.A., zajavitel' i patentoobladatel' GOU VPO «TGASU» № 2006141682, zajav. 24.11.2006, opubl. 27.03.2007. (rus.)

*Krylov V.V. *, Postgraduate,
Moscow State University of Civil Engineering, Russia,
Sarkisov D.Yu., Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
Ergeshov E.T.,
Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia,
Evstafyeva E.B., Research Officer,
Moscow State University of Civil Engineering, Russia
Corresponding author E-mail: albet-group@yandex.ru*

PROGRAM OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE LOAD-BEARING CAPACITY OF GIRDERLESS PLATES FOR PUSHING UNDER DYNAMIC LOADING. DESIGN OF PROTOTYPES

Abstract: this article presents a program for experimental research of the behavior of reinforced concrete slabs when forced through in static and short-term dynamic loading modes. At hazardous production facilities, there is always an increased probability of emergency situations of disaster nature that lead to explosions and are characterized by a sharp increase in the front, a short duration and a wave character. Taking into account the placement of complex technological processes in buildings, it is now necessary to implement “flexible” space-planning solutions, for example, the use of girderless floors. The need to perform these studies is also due to the lack of methods and regulatory documents that regulate the calculation of the penetration of unbalanced monolithic slabs under dynamic loading. The purpose and objectives of this program are: to assess the influence of the thickness of the slab part of samples and the concrete class on the strength and crack resistance of elements, to obtain new experimental data describing the processes occurring in concrete and reinforcement, to identify patterns of destruction of samples. The test was carried out on a test stand based on a copra rig. The choice of sizes of prototypes is determined by the technical characteristics of this installation, the tasks of the experiment, the possibilities of manufacturing and testing models, and obtaining sufficiently reliable values of the parameters under study during testing. Twelve samples were tested for short-term dynamic loading and four samples for static loading. The following parameters vary: the concrete class (B15 and B20) and the thickness of the slab part of the sample (100 mm and 120 mm). The paper describes the dimensions, reinforcement, concrete classes of the studied samples, the sequence of work in the manufacture of samples, taking into account the installation of load cells. The result of this work is the development of a test method for prototypes.

Keywords: prototypes, dynamic load, reinforced concrete slab, punching shear, reinforcement, grade of concrete, thickness, copra installation

Для цитирования: Крылов В.В., Саркисов Д.Ю., Эргешов Э.Т., Евстафьева Е.Б. Программа экспериментальных исследований несущей способности безбалочных плит на продавливание при динамическом нагружении. конструкция опытных образцов // Строительные материалы и изделия. 2020. Том 3. № 3. С. 47 – 53. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-3-47-53

For citation: Krylov V.V., Sarkisov D.Yu., Ergeshov E.T., Evstafyeva E.B. Program of experimental studies of the load-bearing capacity of girderless plates for pushing under dynamic loading. design of prototypes. Construction Materials and Products. 2020. 3 (3). P. 47 – 53. DOI: 10.34031/2618-7183-2020-3-3-47-53

*Поступила в редакцию 2 апреля 2020 г.
Принята в доработанном виде 10 мая 2020 г.
Одобрена для публикации 22 июня 2020 г.*

*Received: April 2, 2020.
Revised: May 10, 2020.
Accepted: June 22, 2020*