

В.В. РЕМНЕВ^{1,✉}, Д.В. КУЗЕВАНОВ¹, А.В. РЕМНЕВ²

¹ Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство»,
2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

² ОАО «26 Центральный научно-исследовательский институт»
(ОАО «26 ЦНИИ»), Смоленский бульвар, д. 19, стр. 1, г. Москва, 119121,
Российская Федерация

БЫСТРОВОЗВОДИМЫЕ ЗДАНИЯ ИЗ БЛОК–МОДУЛЕЙ С НЕСЪЕМНОЙ ОПАЛУБКой

Аннотация

Введение. Строительная технология быстро-возводимых зданий, наряду с высоким качеством строительства, пользуется широким применением для всех видов зданий и сооружений.

Цель. Максимально обеспечить сохранность людей и оборудования после ударного воздействия. Это достигается за счет:

- 1) разработки конструктивного решения тонкостенной плиты-мембраны, способной получить значительные прогибы без обрушения;
- 2) технологии сборки пространственных блок-модулей из плит-мембран без применения сварки;
- 3) отработки технологических вопросов изготовления плит-мембран; сборки блок-модулей; замоноличивания стыков между блок-модулями.

Материалы и методы. При изготовлении плит-мембран использовался мелкозернистый бетон марки ВСМ В25 П2 F200 W4 с применением тонкодисперсной добавки (барит), армирование спиральное из пружинной проволоки $d = 1,6$ мм.

Результаты. Предлагаемое конструктивное решение обладает значительными запасами прочности и деформативности. Это обеспечивает сохранность людей и оборудования.

Выводы. Применение спирального армирования позволяет изготавливать тонкостенные конструкции

с дальнейшим возведением из них блок-модулей и после заполнения легким бетоном получать быстровозводимые здания и сооружения, выдерживающие значительные нагрузки от воздействия внешних ударных сил.

Ключевые слова: спиральное армирование, мелкозернистый бетон, плиты-мембраны, блок-модули, ударное воздействие

Для цитирования: Ремнев В.В., Кузеванов Д.В., Ремнев А.В. Быстровозводимые здания из блок-модулей с несъемной опалубкой // Бетон и железобетон. 2023. № 3 (617). С. 32–37. DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3\(617\)-32-37](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3(617)-32-37)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 14.04.2023

Поступила после рецензирования 27.04.2023

Принята к публикации 17.05.2023

V.V. REMNEV^{1,✉}, D.V. KUZEVANOV¹, A.V. REMNEV²

¹ Research institute of concrete and reinforced concrete (NIIZHB) named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

² JSC "26 Central Research Institute" (JSC "26 TsNII"), Smolensky boulevard, 19, bld. 1, Moscow, 119121, Russian Federation

PREFABRICATED BUILDINGS MADE OF BLOCK MODULES WITH NON-REMOVABLE FORMWORK

Abstract

Introduction. The construction technology of prefabricated buildings, along with the high quality of construction, is widely used for all types of buildings and structures.

Aim. To maximize the safety of people and equipment after impact. This is achieved by:

- 1) development of a design solution for a thin-walled plate-membrane capable of obtaining significant deflections without collapse;
- 2) technologies for assembling spatial block modules made of membrane plates without welding;
- 3) working out technological issues of manufacturing plates-membranes; assembly of block modules; sealing joints between block modules.

Materials and methods. In the manufacture of membrane plates, fine-grained concrete of the VSM B25 P2 F200 W4 brand was used with the use of a fine additive (barite), spiral reinforcement of spring wire $d = 1.6$ mm.

Results. The proposed design solution has significant reserves of strength and deformability. This ensures the safety of people and equipment.

Conclusions. The use of spiral reinforcement makes it possible to manufacture thin-walled structures with the further construction of block modules with them and, after filling with light concrete, to obtain prefabricated buildings and structures that can withstand significant loads by external shock forces.

Keywords: spiral reinforcement, fine-grained concrete, membrane plates, block modules, impact

For citation: Remnev V.V., Kuzevanov D.V., Remnev A.V. Prefabricated buildings made of block modules with non-removable formwork. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2023, no. 3 (617), pp. 32–37. (In Russian). DOI: [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3\(617\)-32-37](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2023-3(617)-32-37)

Author contribution statement

All authors have made an equal contribution to the preparation of the publication.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 14.04.2023

Revised 27.04.2023

Accepted 17.05.2023

В настоящее время особенно востребованы технологии быстровозводимых зданий [1–3]. В основу рассматриваемой технологии положено использование конверсионных технических решений, основанных на опыте строительства спецсооружений Минобороны, расчетные нагрузки на которые более чем в 10 раз превышают воздействия 9-балльных землетрясений. Эффективность и малая материалоемкость достигается за счет того, что несущие конструкции выполнены в виде «сэндвича», который сочетает малый вес с высокой несущей способностью.

При разработке предлагаемой технологии ставилась основная задача – максимально обеспечить сохранность людей и оборудования после ударного воздействия. Нами были использованы научные разработки, конструктивные приемы и нормативная база, применявшиеся при создании высокозащитных специальных сооружений Минобороны, рассчитанных на восприятие нагрузок ядерных взрывов. Аналогичные сооружения прошли в свое время всестороннюю проверку при натурных испытаниях, подтвердив способность воспринимать расчетные нагрузки, превышающие нагрузки 9-балльных землетрясений.

Задачи, решаемые в предлагаемой технологии, следующие:

- разработка конструкций тонкостенной плиты-мембраны, способной получать значительные прогибы без обрушения;
- сборка пространственных объемных блок-модулей из плит-мембран без применения сварки;
- отработка технологических вопросов изготовления плит-мембран, сборки блок-модулей, возведения из них зданий, замоноличивания пространства между блок-модулями легким бетоном.

В предлагаемом решении наружные плиты-мембраны (рис. 1), применяемые в качестве несъемной опалубки, изготовлены из мелкозернистого бетона марки 300 (БСМ В25 П2 F200 W4 по ГОСТ 7473 [4]) с использованием тонкодисперсной минеральной добавки барит и имеют приведенную толщину 26 мм (при ребрах высотой 50 мм и полках 15 мм). Это значительно меньше, чем нормативный слой штукатурки – 35 мм.



Рис. 1. Фрагмент здания из блок-модулей

Fig. 1. A fragment of a building made of block modules

Жесткий контур плиты-мембраны имеет спиральное армирование [5–6]. Это существенно повышает прочность и деформативность бетона, что особенно важно с учетом расположенных по контуру соединительных узлов. Рабочая арматура, как струны теннисной ракетки, выполнена из отдельных стержней $d = 3$ мм Вр-П. Эти стержни одновременно являются арматурой плиты мембраны и полок плиты между ребрами. Причем армирование осуществлено в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Анкеровка стержней не потребовала устройства отгибов, постановки шайб и т. д., так как она находится в зоне спирального армирования. Ребра армируются спиральной арматурой, которая в данном случае рассматривается как поперечная, и с продольными стержнями, являющимися рабочей арматурой, когда ребра находятся со стороны растянутой зоны. В стыковочных узлах поставлены петли из арматуры $d = 5$ мм А-1. Спирали выполнены из пружинной проволоки $d = 1,6$ мм. Вес арматуры плиты – 14 кг, объем БСМ (пескобетона) – $0,21 \text{ м}^3$. Расход арматуры – 65 кг/м^3 , что является достаточно эффективным показателем. Тонкостенные ребристые плиты-мембраны могут быть квадратными или прямоугольными размером от $2,6 \times 2,6$ м до $3,4 \times 3,4$ м.

Отсутствие сварки существенно повышает надежность конструкции, поскольку применение сварки приводит к изменению структуры металла, ухудшению физико-механических свойств, а в отдельных случаях и к пережогу арматуры. Такое армирование оказалось возможным благодаря специальному технологическому приему, когда арматура укладывается не в форму, как обычно, а на специальную «вафельницу», с помощью которой выштамповываются ребра плиты-мембраны. Ребра повышают изгибную жесткость и устойчивость вертикальных стенок. Ребристая поверхность обеспечивает лучшее сцепление плит-мембран с легким бетоном при замоноличивании.

Следует учитывать, что при действии ударных сейсмических (и динамических) сил нагружение носит волновой характер и в отдельных точках его величина может существенно превышать расчетные значения. Поэтому очень важно, чтобы конструкция обладала значительными запасами прочности и деформативности. Причем в случаях, когда конструкция получает деформации, намного превышающие допустимые, и даже становится непригодной к дальнейшей эксплуатации, она не должна обрушаться. Это обеспечивает сохранность людей и оборудования. Такие требования и были обеспечены при разработке предлагаемых конструктивных решений. В связи с этим немаловажную роль в конструкции плиты-мембраны играет мелкозернистый бетон, используемый при их изготовлении.

Для оценки эффективности использования тонкодисперсной баритовой добавки в технологии бетонов и растворов проведено сравнение барита с натуральными пуццоланами, которые в настоящее время достаточно хорошо изучены. Важнейшим свойством пуццоланов является гидравлическая (пуццолановая) активность (способность химически связывать гидроксид кальция, выделяющийся в процессе гидратации цемента), которая в большинстве исследований была принята за критерий эффективности того или иного вида этих добавок. В настоящее время существуют различные методики определения пуццолановой активности, в некоторых из них критериями оценки являются способность тонкодисперсных добавок поглощать известь из ее насыщенного раствора [7, 8] и относительная прочность образцов на портландцементе с рассматриваемыми добавками [9]. Часть методик включена в стандарты, в которых предусматривается испытание добавок как в смеси с портландцементом, так и с известью. Введение минеральных добавок может оказывать благоприятное влияние на многие свойства цементного теста и формирование структуры цементного камня.

Влияние минеральных добавок на твердение портландцемента проявляется в замедлении сроков схватывания цементного теста. Что касается барита, то экспериментальные исследования, проведенные с портландцементом, показали, что на сроки схватывания цементного теста эта добавка существенного влияния не оказывает. Водопотребность цементного теста и растворов на их основе, выраженная нормальной густотой (Н.Г.Ц.Т.) и повышением В/(Ц+Б), незначительна. Получены следующие результаты:

Н.Г.Ц.Т.:

- 1) Ц+ 0 % Б = 24,0 %;
- 2) Ц+ 10 % Б = 22,7 %;
- 3) Ц+ 20 % Б = 22,0 %;
- 4) Ц+ 30 % Б = 21,3 %;
- 5) Ц+ 40 % Б = 22,7 %.

Подробная информация о влиянии суперпластификатора на сроки схватывания и кинетику гидратации цементного теста с баритом в литературных источниках не встречается. Проведенные нами исследования показывают, что мелкозернистый бетон с баритом может содержать и повышенные дозировки нафталинформальдегидных суперпластификаторов без нежелательного эффекта замедления схватывания и потери прочности.

В ходе исследований нами отмечено, что увеличение дисперсности смешанного вяжущего происходит в основном за счет измельчения барита в процессе перемешивания мелкозернистой бетонной смеси как более «мягкого» компонента (твердость – 3,3). Гранулометрия смешанного цементно-баритового вяжущего представлена на рис. 2. Дифференциальное распределение частиц по размерам показывает, что баритовый наполнитель имеет значительное количество наноразмерных частиц (< 1 мкм), с которым активно взаимодействует пластификатор.

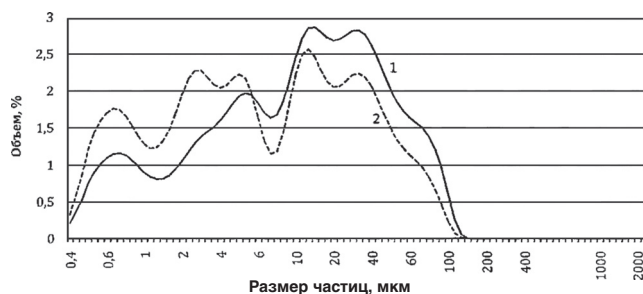


Рис. 2. Гранулометрический состав смешанного цементно-баритового вяжущего (ЦБВ): 1 – 20 % БН; 2 – 40 % БН (баритовый наполнитель)

Fig. 2. Granulometric composition of mixed cement-barite binder (CBB): 1 – 20 % of BF; 2 – 40 % of BF (barite filler)

Содержание тонкомолотого баритового наполнителя (БН) влияет на плотность ЦБВ вяжущего и камня, увеличивая ее примерно на 10 %. Например, введение 40 % барита в портландцемент повышает плотность до 3,4 г/см³.

Структура цементного камня и бетона в присутствии пуццолановых добавок имеет ряд особенностей. В отличие от обычного цементного камня, который характеризуется наличием макропор и микротрещин в зоне контакта с заполнителями, в исследуемом преобладают мелкие поры, а в контактной зоне меньше микротрещин, что способствует повышению прочности и долговечности мелкозернистого бетона [10].

Механизм, по которому происходит улучшение структуры пор в гидратированных пуццолановых цементах, еще не полностью раскрыт и изучен. Структура порового пространства цементного камня и раствора с баритом изучалась с применением методов водопоглощения, ртутной низкотемпературной калориметрии. На основании исследований выявлено, что увеличение дозировки барита приводит к получению более мелкопористой структуры.

Повышение плотности структуры гидратированного цементного камня на портландцементе с баритом может быть объяснено более мелкопористой структурой по сравнению с новообразованиями гидратирующегося портландцемента.

Исследования показали, что для цементного камня, в котором присутствует барит, при постоянном содержании воды снижается общая капиллярная пористость, диаметр капилляров значительно уменьшился (рис. 3).

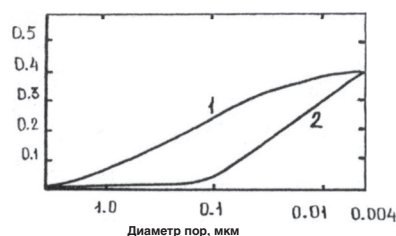


Рис. 3. Распределение пор по размерам в цементном камне без (1) и с (2) баритовой добавкой

Fig. 3. Pore size distribution in cement stone without (1) and with (2) barite additive

Таблица 1
Table 1

Результаты испытаний смешанного ЦБВ с пластифицирующими добавками
Test results of mixed CBV with plasticizing additives

№ п/п	Содержание добавки кг/% от массы цемента			Вода, л	В/Ц	В/ЦБВ	Прочность (МПа) в возрасте (сут)					
							3 суток		7 суток		28 суток	
	Барит	С-3	Таргет				$R_{сж}$	R_u	$R_{сж}$	R_u	$R_{сж}$	R_u
1	—	—	—	280	0,54	0,54	11,3	3,9	25,6	4,7	49,1	5,6
2	52/10	—	—	281	0,54	0,49	13,1	4,2	27,3	4,9	51,4	5,9
3	104/20	—	—	281	0,54	0,45	13,9	4,3	26,9	4,8	51,9	6,3
4	156/30	—	—	281	0,54	0,42	13,5	4,1	28,1	5,1	52,7	5,8
5	208/40	—	—	281	0,54	0,39	14,2	3,9	27,5	4,6	50,1	6,1
6	—	5,2/1	—	213	0,41	0,41	21,6	4,9	32,7	5,2	52,2	6,4
7	52/10	5,2/1	—	213	0,41	0,37	22,3	5,1	35,6	5,5	53,4	6,2
8	104/20	5,2/1	—	213	0,41	0,34	24,4	4,8	34,9	5,9	55,4	6,9
9	156/30	5,2/1	—	213	0,41	0,32	25,1	5,8	37,3	6,2	57,9	7,4
10	208/40	5,2/1	—	213	0,41	0,29	26,2	6,1	37,1	6,1	58,9	8,9
11	—	—	2,6/0,5	202	0,39	0,39	23,4	5,7	36,1	6,4	56,3	7,3
12	52/10	—	2,6/0,5	203	0,39	0,35	25,3	5,5	38,2	6,6	58,8	7,9
13	104/20	—	2,6/0,5	203	0,39	0,33	26,7	5,9	37,4	7,1	63,9	8,3
14	156/30	—	2,6/0,5	203	0,39	0,30	26,4	6,1	39,6	6,9	62,8	8,5
15	208/40	—	2,6/0,5	203	0,39	0,29	27,4	6,3	38,5	7,3	62,1	8,2

Приложение: 1. Расход цемента постоянный – 520 кг.

2. Расход песка снижался на количество применяемой в составе тонкомолотой добавки барита.

Прочность смешанного ЦБВ определяли по ГОСТ 310.4 [11]. Соотношение между цементом и песком составляло 1:3. Из каждой серии испытывали, в определенные ГОСТ сроки, по 6 образцов и вычисляли среднее арифметическое полученных показателей. Результаты представлены в табл. 1.

Из приведенных данных следует:

1. Добавка барита существенно не влияет на водопотребность цементно-песчаного раствора.

2. Консистенция ЦБВ при увеличении расхода баритового наполнителя улучшается, раствор приобретает улучшенные вязкопластичные свойства.

3. Улучшение вязкопластических свойств раствора косвенно подтверждает химическую стойкость барита и нерастворимость его в воде.

4. Применение суперпластификатора С-3 или гиперпластификатора Таргет позволяет существенно снизить В/Ц, повысить пластичность раствора.

Металлические формы плит-мембран обеспечивают высокоточное (до 1 мм) изготовление стыковочных узлов, что существенно упрощает сборку из них пространственных блок-модулей, не требуя сложных сборочных ступеней со специальной системой рихтовки и многочисленными геодезическими замерами. Достаточно обеспечить при сборке проектное положение замковых выступов и пазов плит-мембран, чтобы собранные блок-модули соответствовали проектным размерам с отклонениями не более 5 мм, что значительно превышает точность изготовления объемных блоков по другим технологиям (до 20 мм).

Такое конструктивное решение особенно важно при сборке блок-модулей непосредственно на объекте, так как может производиться с обычных подмостей.

Следует особо отметить технологичность предлагаемого способа. Формовка плит-мембран может быть осуществлена непосредственно на объекте. При доставке форм для бетонирования на объект производство плит-мембран и строительство блок-модульных зданий может быть организовано из местных строительных материалов. Это позволит существенно снизить транспортные расходы.

Предлагаемые технические решения обеспечивают:

– снижение энергоемкости жилого дома не менее чем на 30–40 % по сравнению с эффективными отечественными аналогами;

– создание эффективных блок-модульных автономных систем жизнеобеспечения, тепло-, газо- и водоснабжения, что приводит к снижению числа наружных сетей;

– сравнительно низкую стоимость 1 м² общей площади жилого дома.

Список литературы

1. Вержбовский Г.Б. Малоэтажные быстровозводимые здания и сооружения из композитных материалов. Ростов-на-Дону: ООО «Изд-во Бара»; 2015. 280 с.
2. Мушинский А.Н., Зимин С.С. Строительство быстровозводимых зданий и сооружений // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015. № 4 (31). С. 182–193. EDN: UISIEB

3. Плешивцев А.А. Технологические особенности монтажа трансформируемых малоэтажных зданий из сэндвич-панелей // *Строительство: наука и образование*. 2018. Т. 8. Вып. 1 (27). С. 15–25. DOI: <https://doi.org/10.22227/2305-5502.2018.1.2>. EDN: XOJTPV

4. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия. 2012.

5. Астафьева М.А. Экспериментальные исследования внецентренно сжатых трубобетонных элементов квадратного сечения со спиральным армированием бетонного ядра // *БСТ: Бюллетень строительной техники*. 2017. № 11 (999). С. 16–18. EDN: ZRVWPT

6. Астафьева М.А. Анализ существующих методов расчета трубобетонных колонн со спиральным армированием бетонного ядра // *Архитектура. Строительство. Образование*. 2016. № 2 (8). С. 66–73. EDN: XCLBUH

7. Степанова В.Ф., Курбатова И.И., Абрамкина В.Г., Харитонов Л.П. Определение и влияние гидравлической активности заполнителя на коррозию арматуры // *Бетон и железобетон*. 1989. № 8. С. 21–22.

8. Руководство по обеспечению сохранности арматуры в конструкциях из бетона на пористых заполнителях в агрессивных средах. М.: НИИЖБ; 1979. 29 с.

9. Гольфштейн Л.Я., Белохвостикова О.А., Гейдарова Л.С., Ермаков Г.Ф. Метод определения активности минеральных добавок в цементах // *Цемент*. 1998. № 12. С. 7–10.

10. Рамачандран В.С., Фельдман Р.Ф., Коллепарди М. и др. Добавки в бетон. М.: Стройиздат; 1988. 295 с.

11. ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. 1983.

References

1. Verzhbovsky G.B. Low-rise prefabricated buildings and structures made of composite materials. Rostov-on-Don: LLC "Bara Publishing House"; 2015. 280 p. (In Russian).

2. Mushinskiy A.N., Zimin S.S. Construction of prefabricated buildings and structures. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015, no. 4 (31), pp. 182–193. (In Russian). EDN: UISIEB

3. Pleshivtsev A.A. Technological features of installation of transformable low-rise buildings made of sandwich panels. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2018, vol. 8, issue 1 (27), pp. 15–25. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.22227/2305-5502.2018.1.2>. EDN: XOJTPV

4. State Standard 7473-2010. Fresh concrete. Specifications. 2012. (In Russian).

5. Astafyeva M.A. Experimental research of eccentrically compressed concrete filled steel tube elements of square crosssection with spiral reinforcement of concrete core. *BCM: Bulletin of Construction Machinery*. 2017, no. 11 (999), pp. 16–18. (In Russian). EDN: ZRVWPT

6. Astafyeva M.A. Analysis of existing methods for calculating CFSTC with spiral reinforcement of concrete core. *Architecture. Construction. Education*. 2016, no. 2 (8), pp. 66–73. EDN: XCLBUH

7. Stepanova V.F., Kurbatova I.I., Abramkina V.G., Kharitonova L.P. Determination and influence of hydraulic filler activity on reinforcement corrosion. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 1989, no. 8, pp. 21–22. (In Russian).

8. Guidelines for ensuring the safety of reinforcement in concrete structures on porous aggregates at aggressive environment. Moscow: NIIZNB; 1979. 29 p. (In Russian).

9. Goldstein L.Ya., Belokhvostikova O.A., Heydarova L.S., Ermakov G.F. Method for determining the activity of mineral additives in cements. *Cement*. 1998, no. 12, pp. 7–10. (In Russian).

10. Ramachandran V.S., Feldman R.F., Kolleparadi M. et al. Additives in concrete. Moscow: Stroyizdat; 1988. 295 p. (In Russian).

11. State Standard 310.4-81. Cements. Methods of bending and compression strength determination. 1983. (In Russian).

Информация об авторах /

Information about the authors

Вячеслав Владимирович Ремнев ✉, д-р техн. наук, профессор, советник НИИЖБ им А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: rema5293362@yandex.ru

Vyacheslav V. Remnev ✉, Dr. Sci. (Engineering), professor, Advisor, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: rema5293362@yandex.ru

Дмитрий Владимирович Кузеванов, канд. техн. наук, директор НИИЖБ им А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

Dmitry V. Kuzevanov, Cand. Sci. (Engineering), Director, NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

Андрей Вячеславович Ремнев, инженер, АО «26 ЦНИИ», Москва

Andrey V. Remnev, Engineer, JSC "26 Central Research Institute", Moscow

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author