

В.С. ФЕДОРОВ¹, И.А. ТЕРЕХОВ¹, А.М. ЛИПАТОВ²

¹ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», г. Москва, Россия

²Коломенский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Коломна, Россия

ОБРАЗОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

***Аннотация.** В статье рассмотрены положения по выбору транспортных средств для перевозки сборных железобетонных конструкций. Потребность в применении железнодорожного транспорта при осуществлении доставки конструкций может быть вызвана строительством в отдаленных районах Сибири, а также существующим размещением предприятий-поставщиков.*

Для перевозки конструкций в основном используются полувагоны общего назначения, а также четырехосные платформы. Приведены способы закрепления и размещения железобетонных конструкций.

Рассмотрены основные причины повреждений железобетонных конструкций и разработаны рекомендации по их устранению при транспортировании. В большинстве случаев повреждения конструкций при железнодорожных перевозках происходят в момент соударения вагонов при неправильном спуске их с сортировочных горок из-за смещения или излома креплений под действием сдвигающегося груза, когда скорости платформ превышают нормативные. На количество повреждений также влияет некачественно осуществляемое крепление.

Исследованы возможности погрузки конструкций массового изготовления в полувагоны и на платформы, в предположении загрузки их одинаковыми по массе и размерам железобетонными конструкциями.

Приведены предложения по повышению эффективности перевозок железнодорожным транспортом, в том числе рекомендовано к применению техническое решение с установкой каркаса на платформе для перевозки плит.

Ключевые слова: транспортирование, железнодорожный транспорт, погрузка, сборный железобетон, плита, ферма, колонна, балка, дефект.

V.S. FEDOROV¹, I.A. TEREKHOV¹, A.M. LIPATOV²

¹Russian University of Transport, Moscow, Russia

²Kolomna Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Kolomna, Russia

FORMATION OF DEFECTS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES DURING TRANSPORTATION BY RAIL

***Abstract.** The article discusses the provisions on the choice of vehicles for the transportation of prefabricated reinforced concrete structures. The need for the use of railway transport in the delivery of structures may be caused by construction in remote areas of Siberia, as well as the existing location of supplier enterprises.*

General-purpose gondola cars, as well as four-axle platforms, are mainly used for transporting structures. The methods of fixing and placing reinforced concrete structures are given.

The main causes of damage to reinforced concrete structures are considered and recommendations for their elimination during transportation are developed. In most cases, structural damage during rail transportation occurs at the moment of collision of wagons when they are improperly lowered from the sorting slides due to displacement or fracture of fasteners under the action of shifting cargo, when the speeds of the platforms exceed the standard ones. The amount of damage is also affected by poor-quality fastening.

The possibilities of loading mass-produced structures into gondola cars and onto platforms are investigated, assuming that they are loaded with reinforced concrete structures of the same weight and size.

The proposals for improving the efficiency of rail transport are presented, including a recommended technical solution with the installation of a frame on a platform for transporting slabs.

Keywords: transportation, rail transport, loading, precast concrete, slab, truss, column, beam, defect.

Введение

В доэксплуатационной стадии работы конструкций особое внимание следует уделять вопросам транспортирования конструкций с целью исключения появления дефектов в конструкциях.

Перевозка сборных железобетонных изделий у нас в стране производится, как правило, автомобильным и железнодорожным транспортом и включает в себя следующие этапы: подготовка изделий, подача автотранспорта или подвижного состава, погрузка и закрепление изделий, транспортирование, разгрузка с последующим складированием [1].

Сохранность конструкций зависит от соблюдения требований, предъявляемых при погрузке, разгрузке и креплении конструкций правил формирования состава на сортировочных станциях, а также соблюдения скоростного режима при транспортировании [2,3].

Для каждого объекта строительства при выборе вида транспорта следует исходить из экономической эффективности перевозок для конкретной связки (изготовитель – потребитель) [4-7]. В случае отсутствия вблизи объекта строительства железнодорожного сообщения и наличия необходимой дорожной сети перевозка автомобильным транспортом может быть более экономичной, так как позволяет осуществлять транспортирование непосредственно от места изготовления до места монтажа без перегрузок.

Однако, некоторые предприятия стройиндустрии, особенно транспортного строительства, доставляют на объекты железнодорожным транспортом значительную долю производимого железобетона. Большой объем перевозки вызван строительством в отдаленных районах Сибири, а также существующим размещением предприятий-поставщиков.

Для перевозки железобетонных конструкций в основном используются полувагоны общего назначения, доля которых в парке вагонов РФ наибольшая, а также четырехосные платформы.

При перевозке грузов по железной дороге в соответствии с Техническими условиями [8] конструкции должны быть расположены и закреплены в пределах габаритов, представленных на рисунке 1.

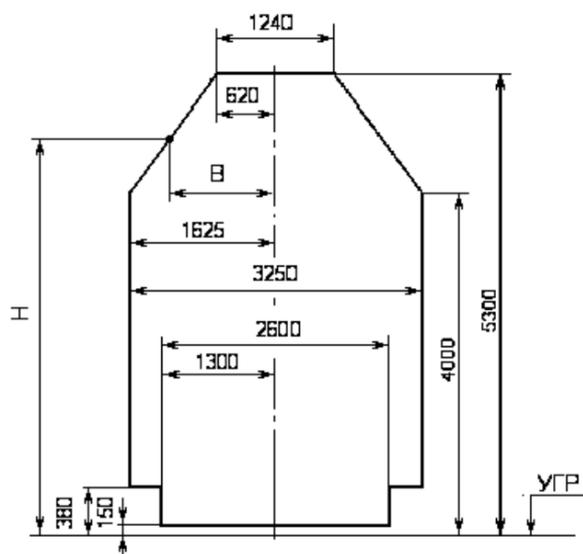


Рисунок 1 – Очертание основного габарита погрузки

В настоящее время часть подвижного состава переоборудована для перевозки определенного вида изделий, что способствует большей сохранности изделий при перевозке. Использование грузоподъемности таких арендованных вагонов, по сравнению с подвижным составом общего назначения, возросло на 10-15% за последние 20 лет. Помимо этого, сокращается в значительной степени расход крепежного материала и продолжительность погрузки до 1 часа вместо 6-8 часов, затрачиваемых при погрузке в вагоны общего назначения.

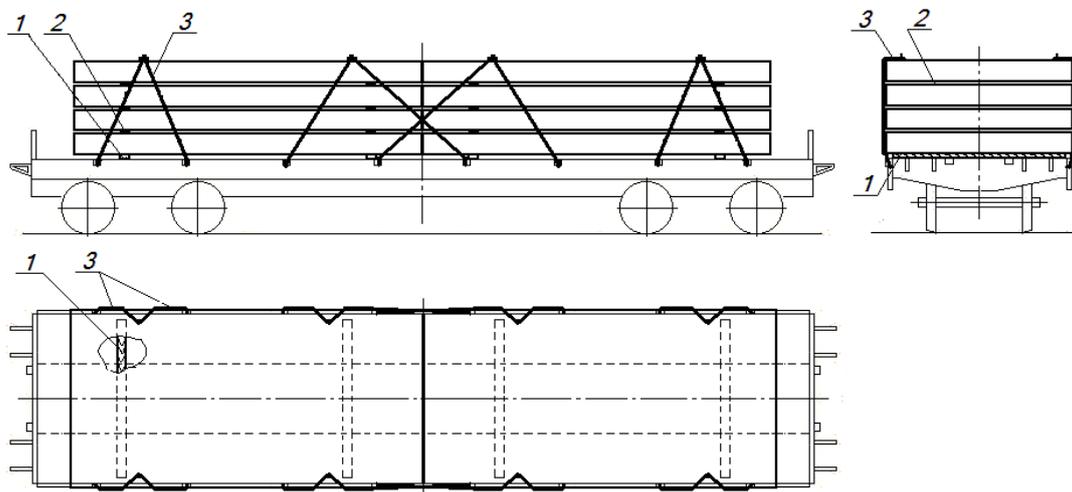
В связи с тем, что разгон и торможение подвижного состава происходит более резко, чем у автомобильного транспорта, а также учитывая необходимые маневры на сортировочных станциях, предъявляемые требования по подготовке и закреплению конструкций к транспортированию железнодорожным транспортом выше, чем автомобильным транспортом.

Способы закрепления конструкций

Транспортирование железобетонных конструкций осуществляют в штабелях, расположенных, как правило, симметрично относительно продольной и поперечной осей симметрии вагона или платформы. В зависимости от вида конструкции в штабеле может быть один или несколько ярусов. На каждом ярусе располагают одинаковое количество конструкций, за исключением верхнего, в котором может быть расположено меньшее количество конструкций.

Штабеля устанавливают на продольные или поперечные деревянные подкладки. Между ярусами конструкций устанавливают деревянные подкладки, высота которых должна обеспечивать необходимый зазор между конструкциями по высоте с учетом высоты монтажных петель.

Расположение подкладок и прокладок регламентируется техническими условиями или устанавливается в рабочих чертежах на конкретные виды конструкций и не должно препятствовать установке растяжек. Растяжки закрепляют за монтажные петли или отверстия, а также строповочные устройства [8]. На рисунке 2 приведена схема размещения плит на платформе.



*Рисунок 2 – Схема закрепления плит на платформе
1 – подкладка; 2 – прокладка; 3 – растяжка*

При транспортировании железобетонные колонны, ригели, балки и сваи располагают в штабелях в зависимости от длины изделия. Обычно колонны транспортируются в штабелях по два ряда. Сваи перевозятся аналогичным образом, но с увеличением количества рядов. Количество штабелей может достигать четырех. На рисунке 3 приведен пример размещения балок прямоугольного сечения в двух штабелях.

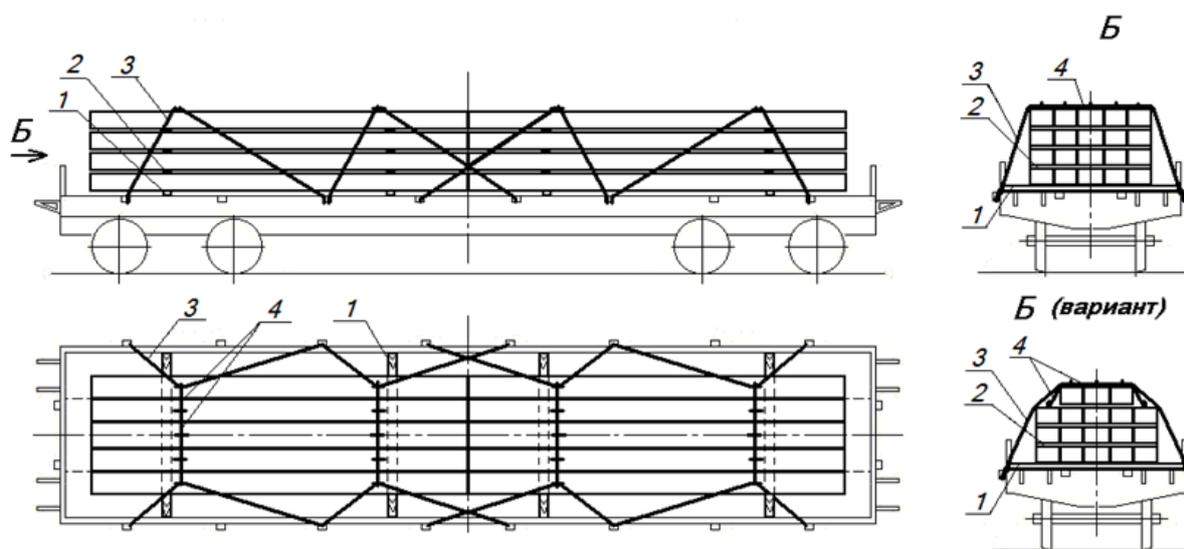


Рисунок 3 – Пример размещения балок в двух штабелях
 1 – подкладка; 2 – прокладка; 3 – растяжка; 4 – увязка; 5 – упорный брусок

Стропильные балки с параллельными поясами пролетом 12 м возможно транспортировать в штабеле с двумя ярусами. Допускается размещение семи балок в нижнем ярусе и шести балок в верхнем.

Размещение стропильных конструкций в одном полувагоне или на одной платформе производят, как правило, для конструкций пролетом до 18 м включительно.

Для стропильных конструкций пролетами более 18 м разработано решение по размещению на двух платформах с применением поворотных турникетно-крепежных устройств [9].

Образование дефектов при транспортировании

Повреждаемость железобетонных конструкций по данным [10] в среднем составляла 1-3 % от числа перевозимых, а для плит этот показатель мог достигать 5 %.

Соударения платформ при формировании составов и повышение скоростей движения приводит к резкому увеличению инерционной силы, которая способна сдвинуть любые перевозимые изделия, что приводит к увеличению материалоемкости при закреплении. Поэтому в большинстве случаев повреждения конструкций при железнодорожных перевозках происходят в момент соударения вагонов при неправильном спуске их с сортировочных горок из-за смещения или излома креплений под действием сдвигающегося груза, когда скорости платформ превышают нормативные. На количество повреждений также влияет некачественно осуществляемое крепление.

Для выявления основных причин повреждений и разработки рекомендаций по их устранению, проанализированы данные [11-15] по обследованию конструкций после изготовления и перевозки.

При использовании стандартных схем погрузок плит на платформах после транспортирования по железной дороге возникают трещины в продольных ребрах плит. Трещины в плитах после перевозки в основном нормальные в верхней зоне продольных ребер у края прокладок. Поврежденными оказываются плиты 1-2 нижних рядов. В многопустотных плитах повреждения расположены, как правило, на расстоянии 40-60 см от торца в сечениях около монтажных петель.

Возможно также смещение плит и прокладок по горизонтали на 100 мм и более при недостаточном их закреплении.

Применение широких прокладок и подкладок под плиты при небольшой их толщине способствует защемлению концевых участков, что может стать причиной возникновения растягивающих усилий в верхней зоне продольных ребер.

Характер и ширина раскрытия трещин, возникающих в плитах, позволяют в большинстве случаев допустить их применение без каких-либо ограничений.

В колоннах промышленных зданий и сооружений после транспортирования при схемах опирания, когда прокладки и подкладки размещаются непосредственно под монтажными петлями или отверстиями, а сами элементы имеют длину 10-18 м, в месте опор в ряде случаев образуются сквозные трещины с шириной раскрытия до 0,8 мм. В некоторых элементах образуется целый ряд трещин с шагом 10-15 см.

Одной из причин образования трещин в длинномерных элементах (более 14 м) является их незначительная погонная жесткость (высокая гибкость). Заметное повышение частоты собственных колебаний таких элементов часто приводит к совпадению их с частотой колебаний подвижного состава, т.е. к резонансу, а следовательно, к увеличению инерционных нагрузок на перевозимые конструкции. В этом случае в сечениях возле опор образуются сквозные трещины. В случае отсутствия резонанса трещины образуются из-за смещения опор от нормативного положения.

Для балок, колонн, свай длиной до 10 м серьезность повреждения по сравнению с длинными элементами существенно ниже.

Основные повреждения ферм при перевозках образуются в виде трещин в нормальных сечениях верхнего пояса с разной шириной раскрытия и различным расположением по граням элементов. Образуется 2 типа трещин. Первый тип трещин, образовавшихся в результате действия растягивающих продольных сил и изгибающих моментов, вызывающих кривой изгиб, имеет развитие по двум смежным граням или по трем граням с одинаковой протяженностью по вертикальным граням. Второй тип трещин вызван внецентренным растяжением верхнего пояса с малыми эксцентриситетами. Они распространяются по части или по всему сечению. Диапазон раскрытия трещин составляет 0,05-0,17 мм, а средняя величина $a_{ср} = 0,1$ мм.

Результаты исследования и их анализ

Для более рационального применения подвижного состава и, соответственно, увеличения коэффициента использования грузоподъемности, были исследованы возможности погрузки конструкций массового изготовления в полувагоны и на платформы [17, 18], в предположении загрузки их одинаковыми по массе и размерам железобетонными конструкциями (таблица 1). Большинство полувагонов и платформ может загружаться указанным способом.

При перевозке необходимо жестко соблюдать требования погрузки, разгрузки и скоростного режима. Рекомендуется применять специальные контейнеры и турникеты.

Для конструкций, перевозимых железнодорожным транспортом необходимо выполнять расчет на воздействие усилий, возникающих при транспортировании, с введением коэффициента динамичности равного 1,6. В случае наличия экспериментальных данных или соответствующих расчетов данный коэффициент может быть принят в пределах от 1,25 до 1,6 в зависимости от скорости движения и типа тележек подвижного состава.

Однако, значение коэффициента получено только для определения части нагрузки при транспортировании – вертикальной от инерционных сил и массы. Отсутствуют рекомендации по учету других нагрузок: продольной горизонтальной инерционной силы, поперечных горизонтальных инерционных сил (с учетом центробежной силы) и давления от ветра. Строительные нормы не дают рекомендаций по полному учету при проектировании нагрузок с учетом вероятности их сочетания, действующих на железобетонные конструкции в процессе транспортирования.

Таблица 1 – Погрузка конструкций массового изготовления в полувагон и на платформу

Наименование конструкции	Номер стандарта	Марка	Масса 1 шт, т	Габаритные размеры, мм			Погрузка в полувагон [17]			Погрузка на платформу [18]		
				длина	высота	ширина	кол-во, шт.	суммарная масса, т	грузоподъемность, %	кол-во, шт.	суммарная масса, т	грузоподъемность, %
Безраскосная стропильная ферма, 24 м	ГОСТ 20213-2015	4ФБС24	14,2	23940	3300	280	5/2	71,0	51	5/2	71,0	54
Безраскосная стропильная ферма, 18 м	ГОСТ 20213-2015	4ФБС18	10,5	17940	3000	280	6	63,0	100	6	63,0	94
Сегментная стропильная ферма, 24 м	ГОСТ 20213-2015	4ФС24	18,6	23940	3315	350	5/2	93,0	66	5/2	93,0	70
Сегментная стропильная ферма, 18 м	ГОСТ 20213-2015	4ФС18	9,4	17940	2735	300	6	56,4	90	6	56,4	84
Двускатная стропильная балка, 18 м	ГОСТ 20372-2015	6БСД	10,4	17960	1350	330	6	62,4	99	6	62,4	67
Двускатная стропильная балка, 15 м	ГОСТ 20372-2015	2БСД15	8,7	14960	1275	330	6	52,2	90	6	52,2	82
Решетчатая стропильная балка, 18 м	ГОСТ 20372-2015	3БСД18	12,1	17960	1640	280	5	60,5	96	5	60,5	90
Решетчатая стропильная балка, 12 м	ГОСТ 20372-2015	2БСД12	5,0	11960	1390	200	14	70,0	100	12	60,0	91
Стропильная балка, 9 м	ГОСТ 20372-2015	БСП9	2,8	8960	890	220	18	50,4	72	22	61,6	93
Ригели, 9 м	ГОСТ 18980-2015	РДП 6.86	5,8	8560	600	595	10	58	92	10	58	87
Ригели, 6 м	ГОСТ 18980-2015	РДП 4.56	2,55	5560	450	565	24	61,2	87	24	61,2	93
Ребристые плиты, 12 м	ГОСТ 28042-2013	2ПГ12	7,3	11960	2980	450	-	-	-	6	43,8	66
Многopустотные плиты, 6 м	ГОСТ 9561-2016	1ПК60.12	2,1	5980	1190	220	28	58,8	84	28	58,8	89
Колонны, 15 м	ГОСТ 18979-2014	3КБ48.1	6,0	14970	400	400	9	54	93	10	60	89

Примечание – В знаменателе цифра 2 обозначает, что конструкции расположены на двух полувагонах (платформах).

С целью уменьшения количества дефектов в многopустотных и ребристых плитах для перевозки на платформе разработано и внедрено удачное техническое решение с установкой каркаса (рисунок 4), которое рекомендуется к широкому применению [16]. Данный каркас имеет внутренние размеры в плане 6030×3020 мм при высоте 2500 мм. Конструкция

пригодна для перевозки большей части номенклатуры сборных плит, а также прогонов, балок, свай, стеновых панелей, лотков, труб и других изделий длиной не более 6 м.

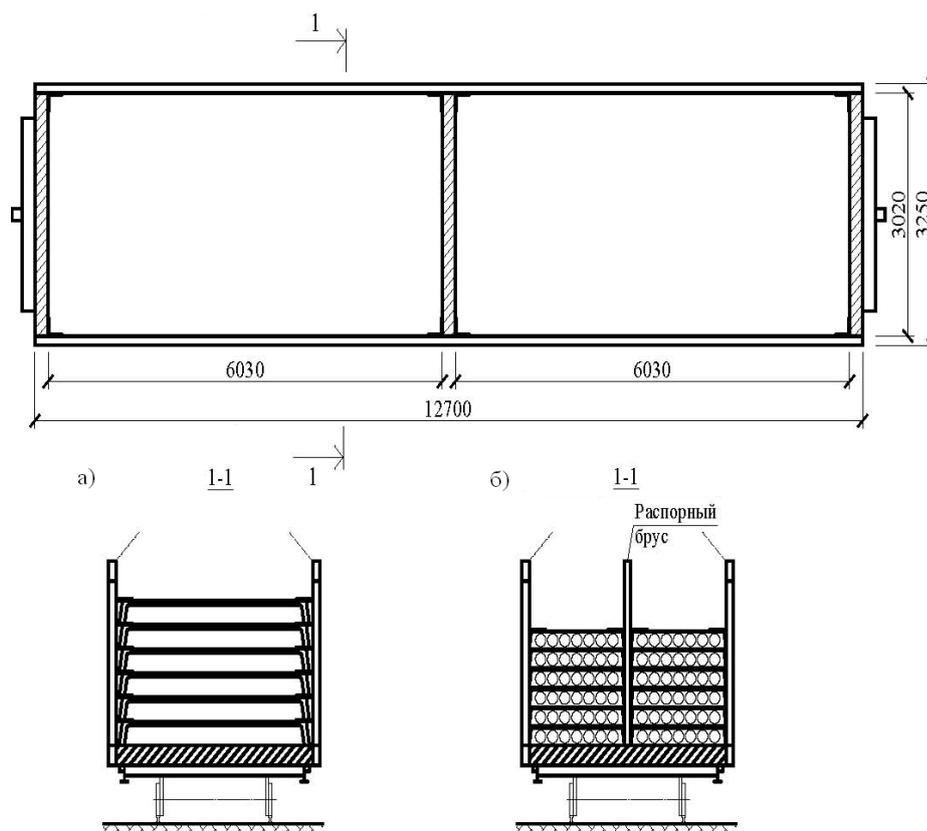


Рисунок 4 – Схема каркаса для перевозки плит:
а) однорядная погрузка плит; б) двухрядная погрузка плит

В данном решении для ограничения перемещений изделий с малыми поперечными сечениями (свай, перемычки, балки и т.п.) в торцах устанавливается брусчатая стенка, соединенная с поперечной рамой.

Целесообразно в стандартных схемах крепления железобетонных конструкций, приведенных в Технических условиях [8] (рисунки 2 и 3), поверху конструкций установить дополнительную прокладку по оси существующих. К данной прокладке будут устанавливаться увязки, а также крепиться растяжки. Это позволит освободить от элементов крепления монтажные петли и отверстия, которые не предназначены для восприятия усилий, возникающих при транспортировании по железной дороге, что позволит уменьшить дефектообразование в данной зоне конструкций.

Дефекты, которые образуются при изготовлении конструкций, как правило, не являются причиной появления дефектов при транспортировании, но могут им способствовать, что также негативно скажется на работе конструкций на других этапах жизненного цикла [19, 20]. Например, в случае превышения напряжений в арматуре при предварительном натяжении, уменьшении толщины защитного слоя бетона. Поэтому изготовление конструкций с соответствующим контролем качества в рамках производственного контроля будет также способствовать повышению качества конструкций, поставляемых по железной дороге потребителю.

Если конструкция после транспортирования показала отрицательный результат при входном контроле или верификации, то ее возвращают изготовителю или хранят отдельно на строительной площадке с целью исключения ее применения на объекте. Рекомендации по усилению или восстановлению эксплуатационных показателей конструкций должны назначаться после проведения обследования конструкций [21].

Выводы

1. Для перевозки железобетонных конструкций по железной дороге в основном используются полувагоны общего назначения, а также четырехосные платформы.
2. Использование железнодорожного транспорта в каждом конкретном случае рекомендуется устанавливать на основании рациональности перевозки по сравнению с автомобильным транспортом.
3. При перевозке необходимо жестко соблюдать требования погрузки, разгрузки и скоростного режима. Рекомендуется применять специальные контейнеры и турникеты.
4. Характер и ширина раскрытия трещин, возникающих в плитах, позволяют в большинстве случаев допустить их применение без каких-либо ограничений.
5. Для более рационального применения подвижного состава и, соответственно, увеличения коэффициента использования грузоподъемности, были исследованы возможности погрузки конструкций массового изготовления в полувагоны и на платформы.
6. Установлено, что строительные нормы не дают рекомендаций по полному учету при проектировании нагрузок с учетом вероятности их сочетания, действующих на железобетонные конструкции в процессе транспортирования.
7. С целью уменьшения количества дефектов в многопустотных и ребристых плитах для перевозки на платформе рекомендовано к применению техническое решение с установкой каркаса, внутренние размеры в плане 6030×3020 мм при высоте 2500 мм подходят также большей части номенклатуры сборных конструкций длиной не более 6 м.
8. Предложено в стандартных схемах крепления железобетонных конструкций поверху установить дополнительную прокладку по оси существующих, чтобы освободить от элементов крепления монтажные петли и отверстия, которые не предназначены для восприятия усилий, возникающих при транспортировании по железной дороге.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вельможин А.В., Куликов А.В., Фирсова С.Ю. К вопросу определения минимального количества ездки автомобиля при перевозке ЖБИ на строящийся объект // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. 2010. Т. 3. № 10 (70). С. 134-135.
2. Новикова В.Н., Литвинов Р.С. Совершенствование транспортировки строительных конструкций // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1 (52). Режим доступа: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_126_Litvinov_N.pdf_37d1276fac.pdf.
3. Осьминин А.Т., Белозерова И.Г. Совершенствование системы планирования перевозок грузов // Железнодорожный транспорт. 2020. № 3. С. 17-21.
4. Терехов И.А. К вопросу перевозки автомобильным транспортом сборных железобетонных конструкций // Инженерный вестник Дона. 2023. № 8(104). С. 283-295. Режим доступа: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_36__8_terekhov.pdf_76ddc9400e.pdf.
5. Шадрин А.Р. Основные проблемы и пути их решения при организации крупногабаритных и тяжеловесных грузов // Экономика и бизнес: теория и практика. 2021. № 11-3 (81). С. 174-177.
6. Jang J.Y., Ahn S., Kim T.W. Cloud-based information system for automated precast concrete transportation planning. Automation in Construction. 2023. № 152. 104942. (eng)
7. Kim M.K., Sohn H., Chang C.C. Automated dimensional quality assessment of precast concrete panels using terrestrial laser scanning. Automation in Construction. 2014. № 45. Pp 163-177. (eng)
8. Технические условия размещения и крепления грузов. Приложение 3 к СМГС (по состоянию на 1 июля 2020 года) [Электронный ресурс]. — Белорусская железная дорога, 2020. 354 с. Режим доступа: https://www.rw.by/upload/iblock/fec/Pril-3-SMGS_Tom-2_2020.pdf (дата обращения: 07.12.2023).
9. Смехов А.А., Малов А.Д., Островский А.М., Рудых С.С., Демянкова Т.В. Грузоведение, сохранность и крепление грузов. М.: Транспорт, 1987. 239 с.
10. Бугор А.И., Короткова Л.С. К вопросу о сохранности строительных конструкций изделий в процессе их транспортирования по железной дороге // Совершенствование технологии изготовления конструкций и методов строительства транспортных зданий. М., 1984. 55-58 с.
11. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Федоров В.С., Терехов И.А. Железобетонные конструкции. В 2 ч. Ч. 1 Расчет конструкций: учебник для вузов. 2-е издание, дополненное и переработанное. М.: Издательство АСВ, 2022. 388 с.
12. Петров И.А., Кодыш Э.Н. К вопросу обеспечения сохранности сборных железобетонных конструкций при перевозке // Промышленное строительство. 1972. № 7. С. 5-6.
13. Петров А.Н., Путиков А.И. Оптимальные схемы транспортирования и монтажа длиномерных конструкций // Бетон и железобетон. 1988. № 1. С. 20-22.

14. Бондаренко В.М., Федоров В.С. Модели в теориях деформации и разрушения строительных материалов // *Academia. Архитектура и строительство*. 2013. № 2. С. 103-105.
15. Valinejadshoubi M., Bagchi A., Moselhi O. Damage detection for prefabricated building modules during transportation // *Automation in Construction*. Vol. 142. 2022. URL: [sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580522003399?via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580522003399?via%3Dihub) (eng)
16. СТО НОСТРОЙ 2.7.55-2011 Плиты покрытий и перекрытий сборные железобетонные с предварительно напряженной арматурой для пролетов до 7,2 м. Технические требования к монтажу и контролю их выполнения — М.: Издательство «БСТ», 2008. 58 с.
17. Альбом-справочник полувагонов [Электронный ресурс]. / Интекс Логистик, 2018. 119 с. Режим доступа: <http://intecs-log.ru/wp-content/uploads/2018/05/Poluvagony.pdf>.
18. Альбом-справочник универсальных платформ [Электронный ресурс]. / Интекс Логистик, 2018. 111 с. Режим доступа: <http://intecs-log.ru/wp-content/uploads/2018/05/Universalnye-platformy.pdf>.
19. Федоров В.С., Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н., Терехов И.А. Критерии для оценки категории технического состояния железобетонных колонн, ригелей, балок и ферм // *Строительство и реконструкция*. 2023. № 3(107). С. 58-69.
20. Келасьев Н.Г., Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Терехов И.А., Шмаков С.Д., Хаютин Ю.Г. Совершенствование нормативной системы в строительстве на всех этапах жизненного цикла объекта // *Промышленное и гражданское строительство*. 2019. № 4. С. 10-15.
21. Терехов И.А., Такташкина О.Л. Ликвидация дефектов ребристых плит перекрытий и покрытий // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2022. № 11-2 (74). С. 167-172.

REFERENCES

1. Velmozhin A.V., Kulikov A.V., Firsova S.Yu. K voprosu opredeleniya minimal'nogo kolichestva ezdok avtomobilja pri perevozke ZhBI na strojashhijsja ob'ekt [On the issue of determining the minimum number of car rides when transporting reinforced concrete to an object under construction]. *Proceedings of the Volgograd State Technical University. Series: Ground Transportation Systems*. 2010. T. 3. No. 10 (70). Pp. 134-135. (rus)
2. Novikova V.N., Litvinov R.S. Sovershenstvovanie transportirovki stroitel'nyh konstrukcij [Improving the transportation of building structures]. *Engineering Journal of Don*, 2019. No. 1 (52). URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_126_Litvinov_N.pdf_37d1276fac.pdf. (rus)
3. Osminin A.T., Belozeroва I.G. Sovershenstvovanie sistemy planirovaniya perevozok грузов [Improving the cargo transportation planning system]. *Railway transport*. 2020. No. 3. pp. 17-21. (rus)
4. Terekhov I.A. K voprosu perevozki avtomobil'nym transportom sbornyh zhelezobetonnyh konstrukcij [On the issue of transportation of prefabricated reinforced concrete structures by road] // *Engineering Journal of Don*. – 2023. No. 8(104). Pp. 283-295. URL: http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_36__8_terekhov.pdf_76ddc9400e.pdf. (rus)
5. Shadrina A.R. Osnovnye problemy i puti ih resheniya pri organizacii krupnogabaritnyh i tyazhelovesnyh грузов [The main problems and ways to solve them in the organization of bulky and heavy cargo]. *Economics and Business: theory and practice*. 2021. No. 11-3 (81). Pp. 174-177. (rus)
6. Jang J.Y., Ahn S., Kim T.W. Cloud-based information system for automated precast concrete transportation planning. *Automation in Construction*. 2023. No. 152. 104942.
7. Kim M.K., Sohn H., Chang C.C. Automated dimensional quality assessment of precast concrete panels using terrestrial laser scanning. *Automation in Construction*. 2014. No. 45. Pp. 163-177
8. Tekhnicheskie usloviya razmeshcheniya i krepneniya грузов. Prilozhenie 3 k SMGS (po sostoyaniyu na 1 iyulya 2020 goda) [Technical conditions for the placement and fastening of goods. Appendix 3 to the SMGS (as of July 1, 2020)] [Online]. Belarusian Railway, 2020. 354 p. URL: https://www.rw.by/upload/iblock/fec/Pril-3-SMGS_Tom-2_2020.pdf. (rus)
9. Smekhov A.A., Maslov A.D., Ostrovsky A.M., Rudykh S.S., Demyankova T.V. Gruzovedenie, sohrannost' i krepnenie грузов. [Cargo science, safety and fastening of goods]. Moscow: Transport, 1987. 239 p. (rus)
10. Butor A.I., Korotkova L.S. K voprosu o sohrannosti stroitel'nyh konstrukcij izdelij v processe ih transportirovaniya po zheleznoj doroge [On the issue of the safety of building structures of products in the process of their transportation by rail] // *Improving the technology of manufacturing structures and methods of construction of transport buildings*. Moscow, 1984. Pp. 55-58. (rus)
11. Kodysh E.N., Trekin N.N., Fedorov V.S., Terekhov I.A. Zhelezobetonnye konstrukcii. V 2 ch. Ch. 1 Raschet konstrukcij: uchebnik dlja vuzov. [Reinforced concrete structures. In 2 parts. Part 1 Calculation of structures: a textbook for universities. 2nd edition, enlarged and revised]. Moscow: ASV Publishing House, 2022. 388 p. (rus)
12. Petrov I.A., Kodysh E.N. K voprosu obespecheniya sohrannosti sbornyh zhelezobetonnyh konstrukcij pri perevozke [On the issue of ensuring the safety of precast reinforced concrete structures during transportation]. *Industrial construction*. 1972. No. 7. Pp. 5-6. (rus)
13. Petrov A.N., Putikov A.I. Optimal'nye skhemy transportirovaniya i montazha dlinnomernyh konstrukcij [Optimal schemes of transportation and installation of long-length structures]. *Concrete and reinforced concrete*. 1988. No. 1. Pp. 20-22. (rus)

14. Bondarenko V.M., Fedorov V.S. Modeli v teoriyah deformatsii i razrusheniya stroitel'nyh materialov [Models in theories of deformation and destruction of building materials] // Academia. Architecture and construction. 2013. No. 2. Pp. 103-105. (rus)
15. Valinejadshoubi M., Bagchi A., Moselhi O. Damage detection for prefabricated building modules during transportation. Automation in Construction. Vol. 142. 2022. URL: [sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580522003399?via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580522003399?via%3Dihub)
16. STO NOSTROI 2.7.55-2011 Plity pokrytij i perekrytij sbornye zhelezobetonnye s predvaritel'no napryazhennoj armaturoj dlya proletov do 7,2 m. Tekhnicheskie trebovaniya k montazhu i kontrolyu ih vypolneniya [Prefabricated reinforced concrete slabs with prestressed reinforcement for spans up to 7.2 m. Technical requirements for installation and control of their implementation]. Moscow: Publishing house "BST", 2008. 58 p. (rus)
17. Al'bom-spravochnik poluvagonov [Album-guide of gondola cars] [Online]. / Intex Logistics, 2018. 119 p. URL: <http://intecs-log.ru/wp-content/uploads/2018/05/Poluvagony.pdf>. (rus)
18. Al'bom-spravochnik universal'nyh platform [Album-reference of universal platforms] [Online]. / Intex Logistics, 2018. 111 p. URL: <http://intecs-log.ru/wp-content/uploads/2018/05/Universalnye-platformy.pdf>. (rus)
19. Fedorov V.S., Trekin N.N., Kodysh E.N., Terekhov I.A. Kriterii dlya ocenki kategorii tekhnicheskogo sostoyaniya zhelezobetonnyh kolonn, rigelej, balok i ferm [Criteria for assessing the category of technical condition of reinforced concrete columns, crossbars, beams and trusses] *Building and reconstruction*. 2023. No. 3(107). Pp. 58-69. (rus)
20. Kelasyev N.G., Kodysh E.N., Trekin N.N., Terekhov I.A., Shmakov S.D., Khayutin Yu.G. Sovershenstvovanie normativnoj sistemy v stroitel'stve na vsekh etapah zhiznennogo cikla ob'ekt [Improving the regulatory system in construction at all stages of the life cycle of an object]. *Industrial and civil engineering*. 2019. No. 4. pp. 10-15. (rus)
21. Terekhov I.A., Taktashkina O.L. Likvidaciya defektov rebristyh plit perekrytij i pokrytij [Liquidation of defects in ribbed floor slabs and coverings]. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2022. No. 11-2 (74). Pp. 167-172. (rus)

Информация об авторах:

Федоров Виктор Сергеевич

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», г. Москва, Россия,
доктор технических наук, профессор, академик РААСН, заведующий кафедрой Строительных конструкций, зданий и сооружений.

E-mail: fvs_skzs@mail.ru

Терехов Иван Александрович

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Строительных конструкций, зданий и сооружений.

E-mail: terekhov-i@mail.ru

Липатов Анатолий Михайлович

Коломенский институт (филиал) ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Коломна, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Технологии машиностроения и систем автоматизированного проектирования.

E-mail: polytech-kolomna@mail.ru

Information about authors:

Fedorov Viktor S.

Russian University of Transport, Moscow, Russia,
doctor of technical sciences, professor, academician of the RAACS, head of the department of building constructsures, buildings and structures.

E-mail: fvs_skzs@mail.ru

Terekhov Ivan A.

Russian University of Transport, Moscow, Russia,
candidate of technical science, associated professor, associated professor of the department of building constructsures, buildings and structures.

E-mail: terekhov-i@mail.ru

Lipatov Anatoly M.

Kolomna Institute (branch) Moscow Polytechnic University, Kolomna, Russia,
candidate of technical science, associated professor, associated professor of the department of mechanical engineering technology and computer-aided design Systems.

E-mail: polytech-kolomna@mail.ru