

К вопросу перевозки автомобильным транспортом сборных железобетонных конструкций

И.А. Терехов

Российский университет транспорта (МИИТ), Москва

Аннотация: Рассмотрены положения по выбору транспортных средств для перевозки сборных железобетонных конструкций. Транспортирование может осуществляться с помощью автомобильного транспорта общего назначения и специализированного транспорта. Существующие правила погрузки на автомобильный транспорт направлены на исключение образования дефектов в конструкциях. С целью погрузки на автотранспорт, в конструкциях используются различные приспособления для строповки – монтажные петли, отверстия, или другие элементы, предусмотренные рабочими чертежами для конкретных конструкций. Обеспечение сохранности перевозимых конструкций возможно при исследовании комплексной системы «дорога – транспортное средство – перевозимые конструкции». Факторы, которые должны быть учтены при расчете на транспортные воздействия: тип изделия (колонны, плиты, панели и др.) и его конструктивные особенности; тип транспортного средства (колонновоз, панелевоз и т.д.) с его характеристиками; тип дороги и скорость транспортирования.

Ключевые слова: транспортирование, автомобильный транспорт, погрузка, сборный железобетон, плита, ферма, колонна, балка

Применяемый автотранспорт

Транспортирование железобетонных конструкций может производиться с помощью железнодорожного или автомобильного транспорта [1, 2]. 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.

Для транспортирования сборных железобетонных конструкций применяют как автомобильный транспорт общего назначения в составе одиночных автомобилей или автопоездов, так и специализированный транспорт. Автопоезд включает в себя автомобиль-тягач, а также один или несколько прицепов или полуприцепов. В качестве специализированного транспорта применяют, как правило, седельный тягач с полуприцепом в случае необходимости транспортирования крупногабаритных грузов или грузов с нестандартными размерами, которые не помещаются на

автотранспорт общего назначения, а также требуют особого способа укладки и крепления на автотранспорте.

Применяемые специализированные прицепные устройства, имеющие различную конструкцию, можно классифицировать по трем основным признакам [3, 4]:

1. По виду основного перевозимого груза, например, панелевозы, фермовозы и балковозы для перевозки стеновых панелей, ферм и балок соответственно.

2. По величине погрузочной высоты, которая равна расстоянию от плоскости опирания груза до уровня земли, и ее сравнению с расположением седельно-сцепного устройства тягача и с диаметром колес полуприцепа – высококорамные, низкорамные и полунизкорамные. Например, для низкорамных полуприцепов погрузочная высота меньше высоты расположения седельно-сцепного устройства и меньше диаметра колес полуприцепа.

3. По конструктивному исполнению формы кузова: хребтовые с двумя боковыми погрузочными площадками, разделенными центральной рамой; кассетные для погрузки на одну общую площадку с боковым ограждением; платформенные с площадкой в виде платформы, размеры которой могут быть переменными по длине и ширине; платформенные наклонные для перевозки под углом $50-60^{\circ}$ к вертикали.

Выбор транспортных средств должен выполняться на стадии разработки проекта производства работ (ППР) с учетом следующих данных:

1. Технические характеристик автотранспорта – грузоподъемность, внутренние размеры кузова, которые должны соответствовать предельно допускаемой высоте автомобиля с грузом, радиусам поворотов и т.д.

2. Характеристики перевозимого груза – габариты, вес, жесткостные характеристики, способ закрепления на автотранспорте, способы строповки и опирания на подкладки и прокладки.

3. Маршрут транспортирования – состояние дорог, наличие узких перекрестков, мостов, тоннелей, контактных сетей, предельно допустимые нагрузки и габариты свободного проезда на маршруте следования, возможности разворота, способы подъезда к заводу-изготовителю и строительной площадке и т.д.

Желательно назначать в первую очередь, транспортные средства общего назначения и использовать специализированный автотранспорт в случаях, когда перевозимые конструкции не вписываются в габариты кузова.

Скоростной режим перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов устанавливается ГИБДД с учетом требований других организаций, согласовавшим перевозку [5], и не превышает по дорогам общего пользования 60 км/ч. На различных участках маршрута следования в зависимости от качества профиля дороги, с целью предотвращения повреждения доставляемого груза, может быть установлен переменный скоростной режим. В ряде случаев при проезде по мостовым сооружениям скорость движения может быть ограничена 15 км/ч.

Если габариты перевозимого груза находятся в пределах 3,4 м по высоте, 2,55 м по ширине, длиной до 13,5 м и весом до 20 т, то на такой груз не требуется оформление специального разрешения на перевозку крупногабаритного груза. При этом, в качестве транспортных средств, как правило, используется спецтранспорт – тралы с низкой платформой (рис. 1). В случае превышения указанных размеров требуется получение разрешения на перевозку груза с целью обеспечения безопасности дорожного движения. Например, если высота перевозимых конструкций превышает 4,0 м, то при

следовании под путепроводами дополнительно выполняется контрольный замер высоты.

Наиболее массовые сборные железобетонные конструкции – плиты, перевозят с применением тягача с полуприцепом «кассета» (рис. 2).

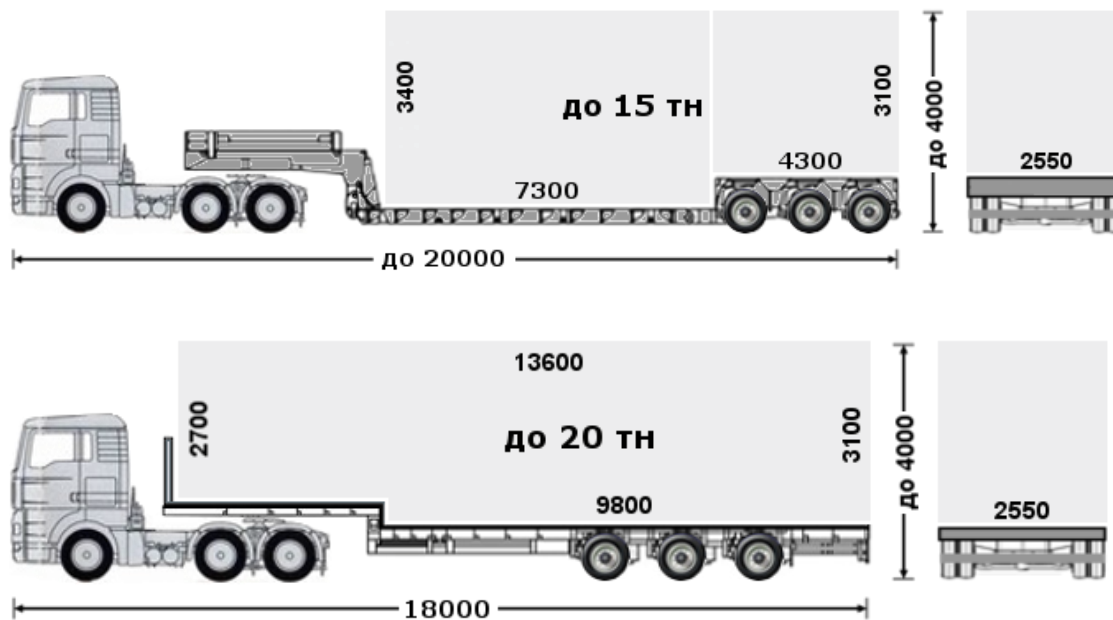


Рис. 1. – Примеры автопоездов в составе тягача и низкорамного трала [4]



Рис. 2. – Перевозка плит перекрытий автотранспортом

Погрузка конструкций

Для погрузки на автотранспорт в конструкциях используются различные приспособления для строповки – монтажные петли, отверстия, или другие элементы, предусмотренные рабочими чертежами на конкретные конструкции.

В соответствии с ГОСТ 13015–2012, на конструкции, в которых трудно отличить верх от низа, например, прямоугольные балки с несимметрично расположенной арматурой, наносят монтажные знаки «верх изделия».

Отпуск конструкций потребителю возможен после достижения бетоном отпускной прочности, установленной в рабочих чертежах или стандартах на данный вид конструкций. Как правило, для конструкций из бетона классом выше В15, значение нормируемой отпускной прочности бетона составляет не менее 50%.

Погрузка на автомобильный транспорт должна исключать возможность образования дефектов конструкций [6].

Конструкции на автотранспорте размещают в проектном или близком к проектному положению, за исключением стержневых элементов (колонн, свай, стоек и т.д.), которые перевозят горизонтально. Стеновые блоки с высотой более 1,25 м и лестничные марши с шириной более 1,25 м следует грузить в горизонтальном положении. Крупноразмерные элементы, не рассчитанные на работу при изгибе, а также элементы толщиной менее 20 см, должны грузиться в вертикальном или слабонаклонном положениях. Перевозку малогабаритных и легковесных деталей рекомендуется осуществлять в контейнерах или пакетах.

Конструкции необходимо опирать на деревянные подкладки, а при наличии нескольких ярусов по высоте между конструкциями устанавливают деревянные прокладки. Высота подкладок и прокладок должна быть не менее 25 мм, прокладки также должны быть больше высоты выступающих монтажных петель или других выступающих элементов конструкций. Подкладки и прокладки устанавливают строго по одной вертикали друг под другом в местах, предусмотренных рабочими чертежами или в стандартах на конкретный вид конструкций. Для ряда конструкций необходимо также

предусматривать защиту от атмосферных осадков, например, при наличии открытых утепляющих слоев.

Подъем конструкций при погрузке необходимо осуществлять плавно, без рывков, раскачивания и вращения поднимаемых элементов, с применением оттяжек.

Специализированные автотранспортные средства также должны быть оборудованы устройствами, предохраняющими конструкции от возможного опрокидывания и смещения в продольном и поперечном направлениях.

При транспортировании длинномерных конструкций – ферм или балок, в ряде случаев также необходимо учитывать возможность выхода за габариты транспортных средств, а также обеспечивать на поворотах и на уклонах свободное и надежное продольное и угловое перемещение конструкций.

Расчетные положения

Также, как и при перевозке по железной дороге, расчет конструкций можно проводить, принимая коэффициент перегрузки равным 1,6. Эта величина может принимать и более низкие обоснованные значения, но не ниже 1,25. Занижение коэффициента может привести к появлению и развитию трещин, а в отдельных случаях и к разрушению конструкций. Возможен также чрезмерный запас прочности, что ведет к перерасходу материалов.

Сложность назначения нагрузок и разработки методики расчета усугубляется отсутствием достаточно общих вероятностных характеристик качества дорог, недостаточно детально выявленными вероятностными свойствами прочности и упругости железобетонных изделий и почти полным отсутствием вероятностных характеристик упругих параметров самих транспортных средств, имеющих весьма большие разбросы и являющихся нестационарными в процессе эксплуатации.

Комплексное рассмотрение системы «дорога – транспортное средство – перевозимые конструкции» позволит найти эффективное решение поставленной задачи – обеспечить сохранность перевозимых изделий.

Факторы, которые должны быть учтены при расчете на транспортные воздействия: тип изделия (колонны, плиты, панели и др.) и его конструктивные особенности; тип транспортного средства (колонновоз, панелевоз и т.д.) с его характеристиками; тип дороги и скорость транспортирования.

Система «транспортное средство (ТС) – строительная конструкция (СК)» может быть представлена в виде набора конечных элементов.

Дифференциальное уравнение движения линейной системы ТС-СК имеет вид:

$$M\ddot{U} + R\dot{U} + C\bar{U} = -M\ddot{\Delta}, \quad (1)$$

где M – матрица масс, R – матрица коэффициентов демпфирования, C – матрица упругих коэффициентов, $\ddot{\Delta}$ – вектор ускорений внешнего воздействия.

Часто для учета внутреннего и внешнего неупругого сопротивления матрицу R задают в виде:

$$R = \beta_1 C + \beta_2 M, \quad (2)$$

где β_1 – характеризует внутреннее трение, а β_2 – внешнее трение.

Уравнение (1) приобретает вид:

$$M\ddot{U} + (\beta_1 C + \beta_2 M)\dot{U} + C\bar{U} = -M\ddot{\Delta}, \quad (3)$$

Решение уравнения (3) находится путем разложения по собственным формам колебания.

К настоящему времени в литературе имеются данные по микропрофилям автомобильных дорог, различающиеся по частотному составу и по амплитудам [7, 8]. Как показывает анализ большого числа

экспериментальных данных, спектральные характеристики дорог с одним типом покрытия, но расположенных в разных географических районах страны, обладают определенной устойчивостью, мало отличаясь друг от друга. Обобщенные результаты, которые можно рекомендовать для практического расчета:

1. В узких диапазонах частот спектральные характеристики $S_0(\omega)$ для разных скоростей движения могут быть аппроксимированы «белыми шумами»;

2. Для дорог с цельнобетонным покрытием можно установить три класса воздействия, соответствующие следующим характеристикам ровности дорожной поверхности:

I – хорошая степень ровности;

II – удовлетворительная степень ровности;

III – неудовлетворительная степень ровности.

3. В качестве нормативного воздействия могут быть приняты характеристики микропрофиля с удовлетворительной степенью ровности.

При проведении численного эксперимента исходной информацией было описание дискретизации транспортного средства и строительной конструкции, характеристики внешнего кинематического воздействия, параметры прочности железобетонного элемента [9].

В расчете перевозимые железобетонные конструкции типа колонн рассматривались как балки. Вычислялась жесткость балки и предельный момент трещинообразования.

Для проверки надежности перевозки колонн в качестве транспортного средства был взят одноосный прицеп. Общий вид прицепа и тягача представлен на рис. 3. Элементом прицепа является продольная балка. Поэтому считалось, что жесткость прицепа равна жесткости балки, поперечное сечение которой дано на рис. 3.

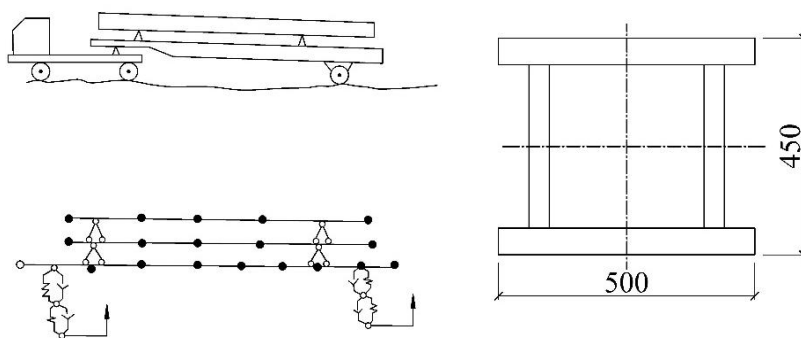


Рис. 3. – Общий вид, расчетная схема прицепа и поперечное сечение продольной несущей балки

Поскольку шаровой шарнир крепления прицепа к тягачу находится над задней осью тягача, то колебания тягача в расчет не принимались. В таблице 1 представлены некоторые данные прицепа.

Таблица № 1

Расчетные данные прицепа

№ п/п	Наименование	Значение
1	Длина прицепа, м	12,33
2	Масса, кг	5040
3	Масса оси в сборе, кг	1200
4	Масса колеса, кг	100
5	Тип шины	12.00 R20

Дискретизация системы ТС-СК показана на рис. 3.

При различной степени дискретизации системы и различной жесткости колес и рессор были вычислены собственные частоты колебаний прицепа без груза. Максимальный разброс имел место для первой собственной частоты и достигал 10 %. Поэтому было принято решение взять в расчет такие жесткости, при которых расчетная первая собственная частота совпадала бы с экспериментально полученной частотой для данного прицепа:

$$\omega_{\text{Экс}}^I \approx 16 \frac{1}{\text{с}}, \quad (4)$$

Декремент колебаний для строительной конструкции и прицепа, обусловленный внутренним трением, был принят равным 0,14. Коэффициент β_1 определялся по формуле:

$$\beta_1 \approx \frac{\delta \cdot \omega_j}{2\pi}, \quad (5)$$

В качестве примера была взята колонна длиной 13,67 м, весом 5,6 т, арматура 4Ø16 класса А400, бетон класса В22,5. Общий вид колонны представлен на рис. 4 [10].

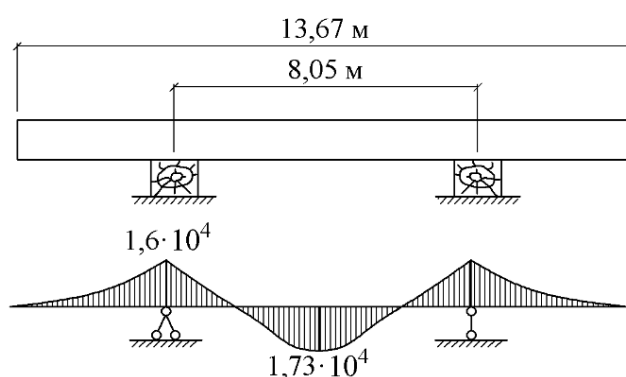


Рис. 4. – Схема перевозки колонн

Основной вклад в колебания вносят первые две формы, соответствующие колебанию прицепа, как абсолютно жесткого и третья, четвертая формы, соответствующие изгибным колебаниям колонны. Вклад остальных форм незначителен. Поэтому достаточно ограничиться описанием прицепа как системы с двумя степенями свободы и учетом только первых двух форм колебаний колонны.

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Выбор транспортных средств должен выполняться на стадии разработки проекта производства работ (ППР) с учетом технических характеристик автотранспорта и перевозимого груза, а также данных о маршруте перевозки.

2. Погрузку на автомобильный транспорт необходимо осуществлять плавно, без рывков, раскачивания и вращения поднимаемых элементов, с применением оттяжек с целью исключения образования дефектов. Размещение на автотранспорте выполняют в соответствии с рабочими чертежами или стандартами на конструкции.

3. Перевозка по дорогам с асфальтобетонным покрытием является достаточно надежной. Поэтому нормативные транспортные нагрузки должны в первую очередь отражать перегрузки, возникающие при движении по грунтовым дорогам или подъездным путям.

4. В расчете на транспортные воздействия длинномерных строительных конструкций, перевозимых рядом прицепов, можно пренебречь гибкостью последнего, а расчет проводить по первым двум формам колебания изделия.

5. Изменением жесткости подвески (за счет установки автоматических пневматических систем) специализированного автотранспорта можно добиться наибольшей надежности перевозки.

Литература

1. Новикова В.Н., Литвинов Р.С. Совершенствование транспортировки строительных конструкций // Инженерный вестник Дона. 2019. № 1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_126_Litvinov_N.pdf_37d1276fac.pdf.

2. Белозерова И.Г. Экономический эффект, возникающий при совершенствовании системы планирования перевозок грузов // Инженерный вестник Дона. 2013. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1762.

3. Трёмбовельский Л.Г. О создании типажа специализированных автотранспортных средств // Автомобильная промышленность. 2017. № 4. С. 6-8.

4. Грифф М.И. Основы создания и развития специализированного автотранспорта для строительства. М.: Издательство АСВ, 2003. 144 с.

5. Шадрина 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. 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)

7. Петров И.А., Кодыш Э.Н. К вопросу обеспечения сохранности сборных железобетонных конструкций при перевозке // Промышленное строительство. 1972. № 7. С. 5-6.

8. Dodds C.J., Robson J.D. The description of road surface roughness // Journal of Sound and Vibration. Vol. 31. Issue 2. 1973. Pp 175-183.

9. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Федоров В.С., Терехов И.А. Железобетонные конструкции. В 2 ч. Ч. 2 Проектирование зданий и сооружений: учебник для вузов. 2-е издание, дополненное и переработанное. М.: Издательство АСВ, 2022. 380 с.

10. Терехов И.А. Эксплуатационная надежность колонн многоэтажных зданий // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия: материалы X Международной научно-практической конференции, в 2 ч. Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2023. Ч.1. С. 266-271.

References

1. Novikova V.N., Litvinov R.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019. № 1. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_126_Litvinov_N.pdf_37d1276fac.pdf.



2. Belozerova I.G. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1762.
3. Trembovskiy L.G. Avtomobil'naja promyshlennost'. 2017. No. 4. Pp. 6-8.
4. Griff M.I. Osnovy sozdaniya i razvitiya specializirovannogo avtotransporta dlja stroitel'stva [Fundamentals of creation and development of specialized vehicles for construction]. Moscow: ASV Publishing House, 2003. 144 p.
5. Shadrina A.R. Jekonomika i biznes: teorija i praktika. 2021. No 11-3 (81). Pp. 174-177.
6. Valinejadshoubi M., Bagchi A., Moselhi O. 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)
7. Petrov I.A., Kodysh E.N. Promyshlennoe stroitel'stvo, 1972. No. 7. Pp. 5-6.
8. Dodds C.J., Robson J.D. Journal of Sound and Vibration. Vol. 31. Issue 2. 1973. Pp. 175-183.
9. Kodysh E.N., Trekin N.N., Fedorov V.S., Terekhov I.A. Zhelezobetonnye konstrukcii. V 2 ch. Ch. 2 Proektirovanie zdaniy i sooruzhenij [Reinforced concrete structures. In 2 parts. Part 2 Design of buildings and structures: a textbook for universities]. 2-e izdanie, dopolnennoe i pererabotannoe. Moskva: Izdatel'stvo ASV, 2022. 380 p.
10. Terekhov I.A. Regional'ny'e aspekty` razvitiya nauki i obrazovaniya v oblasti arxitektury`, stroitel'stva, zemleustrojstva i kadastrov v nachale III ty`sacheletiya: materialy` X Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, v 2 ch. Komsomol'sk-na-Amure: FGBOU VO «KnAGUpp. 266-271.