

Экспериментальные исследования работы деревянных и металлодеревянных конструкций временных покрытий дорог и рабочих площадок

В.А. Демин, А.А. Ефимов, М.В. Кудоманов, А.И. Мартюшева

Тюменский индустриальный университет

Аннотация: В статье приведены результаты экспериментальных исследований работы мобильных деревянных и металлодеревянных плит покрытия дорог и рабочих площадок. Результаты позволяют с достаточной уверенностью прогнозировать напряженно-деформированное состояние мобильных плит в реальных условиях работы на грунтовом основании в качестве временных дорожных покрытий, покрытий вертолетных площадок и площадок буровых установок.

Ключевые слова: мобильные дорожные покрытия, сборно-разборные плиты; временные дорожные покрытия; испытание статической нагрузкой.

Введение

Мобильные дорожные покрытия зачастую являются единственным возможным вариантом решения проблемы размещения рабочих и вертолетных площадок, временных дорог в труднодоступных заболоченных и водонасыщенных местностях, либо арктических территориях со сложными инженерно-геологическими условиями вечной мерзлоты, при осуществлении разведывательных работ, лесозаготовительных работ, обустройстве площадок для буровых установок, осуществлении мероприятий по ликвидации чрезвычайных ситуаций и т.п.

Мобильные дорожные покрытия имеют ряд преимуществ по сравнению с нежесткими дорожными одеждами традиционных вариантов временных дорог (лежневых настилов, временных насыпных дорог), а именно:

- уменьшение толщины дорожной одежды,
- уменьшение удельного давления на грунтовое основание и обеспечение стабильности полотна,

- исключение аварий из-за размыва грунтового основания в процессе эксплуатации, исключение колейности дорог,

- отсутствие необходимости рекультивации после завершения работ.

Наиболее широкое распространение получили предварительно напряженные железобетонные дорожные плиты (ПДН). В последнее время все больше внимание уделяется легким конструкциям мобильных дорожных покрытий. К таким покрытиям можно отнести представленные на рынке: легкие полимерные плиты [1], деревянные [2] и металлодеревянные маты [3, 4]. По сравнению с ПДН, данные конструкции имеют ряд преимуществ. В том числе:

- быстрота и технологичность монтажа покрытия (среднее время монтажа одной плиты – 10 минут);

- отсутствие необходимости в дополнительном оборудовании при сборке;

- долговечность и оборачиваемость при многократном использовании сборно-разборных покрытий, а также их ремонтпригодность;

- небольшой вес конструкции покрытия [5].

Анализ состояния проблемы

В настоящее время нормативно-техническая документация по производству, монтажу и контролю качества существует только для ПДН, например, в ГОСТ 21924.0-84 «Плиты железобетонные для покрытий городских дорог. Технические условия» и в «Методических рекомендациях по проектированию временных автомобильных дорог на строительных площадках». Проектирование, производство, монтаж и контроль эксплуатационных характеристик других мобильных дорожных покрытий осуществляется только на основе существующих технических условий производителей, либо на основе натурных испытаний таких конструкций.

Примеры таких испытаний приведены в работах [6-8]. Кроме натуральных испытаний также используются лабораторные испытания и информационное моделирование работы плит для оценки их несущей способности [9, 10].

Постановка цели, определения задач

В рамках настоящей статьи приведены результаты экспериментальных исследований работы сборно-разборных матов для дорожного покрытия.

Объектом исследований являлись многофункциональные деревянные плиты для дорожных покрытий 2 типов, представленных в таблице 1. Необходимость выполнения натуральных испытаний со статическими нагрузками вызвана отсутствием данных о фактической несущей способности.

Таблица № 1

Типы многофункциональных плит для дорожных покрытий

Тип	Характеристика плиты
Тип 1	 <p>Плита выполнена из деревянных досок сечением 50×150 мм, уложенных с зазором. Доски уложены в три ряда. Габаритные размеры изделия – длина 6,0 м, ширина 2,0 м, высота 0,15 м. Доски между собой соединены болтами диаметром 10 мм, класс прочности 5,8.</p> <p>(плита выполнена по типу [2])</p>

Тип 2	 <p>Плита выполнена из деревянного бруса сечением 200×200 мм, уложенного без зазоров, имеющего обрамление по периметру изделия. Обрамление выполнено цельным гнутым швеллером 200×80×4 мм.</p> <p>Габаритные размеры изделия – длина 6,0 м, ширина 2,2 м, высота 0,2 м.</p> <p>Дополнительно в изделии установлены стальные элементы из гнутого швеллера 200(h)×80×4 мм, разделяющие изделие на три равных отсека.</p> <p>Гнутый швеллер выполнен из стали 09Г2С. (плита выполнена по типу [3,4])</p>
-------	--

Целями исследований были получение и сопоставление экспериментальных и расчетных данных о деформациях, оценка их несущей способности и надежности.

Метод испытания на прочность

Схема испытаний сборно-разборных плит представлена на рис. 1.

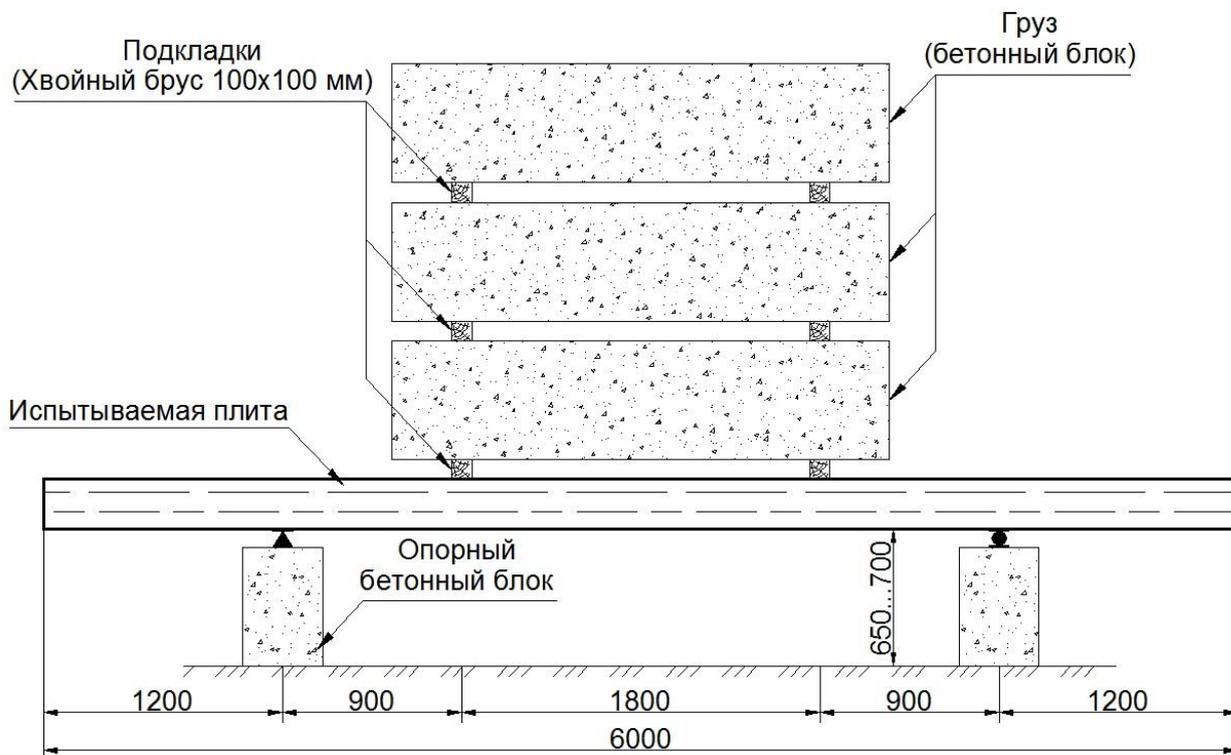


Рис. 1. – Схема испытания сборно-разборных плит

Испытание плиты статической нагрузкой производится по прочности при соблюдении следующих условий:

Величина контрольной нагрузки по прочности, распределенной по всей ширине плиты, определенная при напряжениях в элементах конструкции, равных расчетным сопротивлениям материалов, в зависимости от типа плиты принимается следующей: для плит (тип 1) – 4,9 тс; для плит (тип 2) – 11,0 тс.

После приложения каждой ступени нагрузки, плиту выдерживают под нагрузкой не менее 10 мин., а после приложения полной контрольной нагрузки - не менее 30 мин.

Плита считается выдержавшей испытание, если при контрольной нагрузке по прочности на испытываемых поверхностях и на боковых гранях, при тщательном осмотре не будут обнаружены места разрушения древесины, а для плит двухсторонних усиленных по типу 2 еще и мест потери устойчивости стальных элементов.

Для моделирования схемы испытания в расчетном программном комплексе многофункциональные плиты по типу 1 приняты в виде ортотропных пластин с разными изгибными жесткостями вдоль и поперек плиты. Погонная изгибная жесткость поперек плиты определяется сечением внутреннего слоя досок и составляет $EI_y = 7,8 \cdot 10^5$ кг·см²/см. Изгибная жесткость вдоль плиты определяется сечением двух наружных слоев досок с учетом сдвиговой податливости. Сдвиговая податливость зависит от количества, диаметра и места расположения болтов соединения пакета продольно и поперечно расположенных досок. Для данного типа плит, которые подвергались испытанию, погонная изгибная жесткость в продольном направлении, определенная в процессе испытания по фактическим перемещениям $EI_{x, \text{факт}} = 33,4 \cdot 10^5$ кг·см²/см, оказалась равной примерно в два раза выше погонной изгибной жесткости двух слоев

продольно расположенных досок, не связанных между собой $EI_x = 17,2 \cdot 10^5 \text{ кг} \cdot \text{см}^2 / \text{см}$.

Многофункциональные плиты по типу 2 приняты из стержней по периметру секций с заполнением их пластинами, моделирующими заполнение брусом. Изгибная жесткость многофункциональных плит по типу 2 в продольном направлении определяется продольными стальными швеллерами, расположенными по краям плиты, в поперечном направлении – изгибной жесткостью поперечных стержней между секциями из стальных швеллеров.

Для металлических конструкций принята марка стали 09Г2С с расчетным сопротивлением растяжению, сжатию и изгибу по пределу текучести $R_y = 3400 \text{ кгс/см}^2$ и модулем упругости стали $E_c = 2,1 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2$.

Для деревянных конструкций плит принята древесина 2 сорта с расчетным сопротивлением изгибу $R_{и} = 130 \text{ кгс/см}^2$ и модулем упругости древесины $E_d = 1,0 \cdot 10^5 \text{ кгс/см}^2$.

Расчет плит выполнялся в линейной постановке. Результаты моделирования и расчета многофункциональной плиты по типу 1 приведены на рис.2 в виде мозаики вертикальных перемещений. Величина прогиба при суммарной нагрузке на плиту 10 т составила 94 мм.

Для многофункциональной плиты по типу 2 величина прогиба при суммарной нагрузке на плиту 10 т составила 17,7 мм.

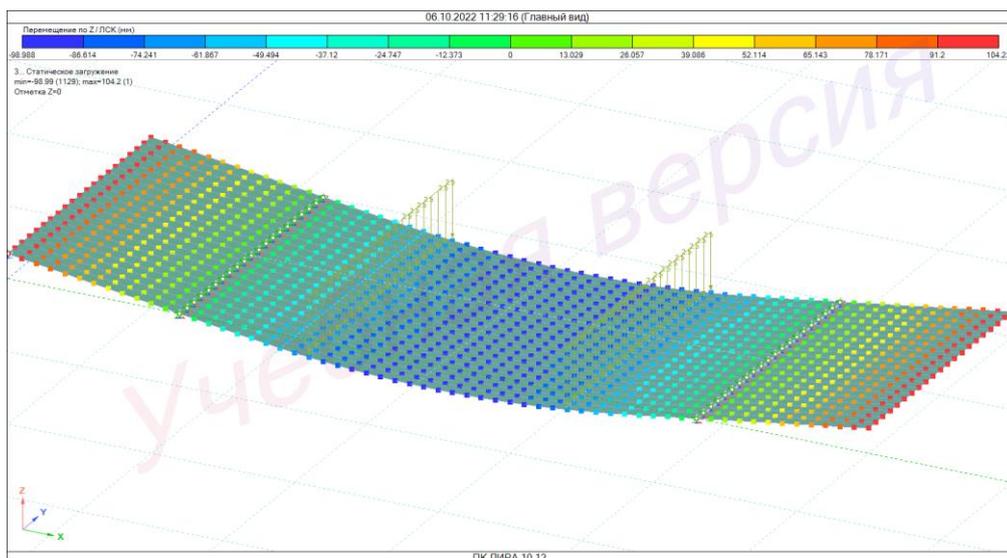


Рис. 2. – Вертикальные перемещения плиты по типу 1, определенные в расчетном программном комплексе ЛИРА 10.12

Результаты испытаний

Испытанию подвергались многофункциональные плиты по типу 1 в количестве 5 шт. и по типу 2 в количестве 4 шт.

В результате испытаний многофункциональных плит по типу 1 статической контрольной нагрузкой установлено следующее:

При приложении контрольной нагрузки прочность изделий обеспечена.

При доведении до разрушения произошел разрыв нижних волокон древесины.

Общий вид изделий при проведении испытаний приведен на рис. 3.



а) Фрагмент загрузки изделия при испытании



б) Фрагмент загрузки изделия при испытании. (Прогиб составляет 136 мм)



в) Фрагмент загрузки изделия при испытании. (Прогиб составляет 235 мм)



г) Характер разрушения изделия – разрушение отдельных досок

Рис. 3. – Фотофиксация результатов испытания многофункциональной плиты по типу 1

В результате испытаний многофункциональных плит по типу 2 статической контрольной нагрузкой установлено следующее:

При приложении контрольной нагрузки прочность изделий обеспечена.

При доведении до разрушения произошла потеря местной устойчивости сжатых полок гнутых швеллеров.

Общий вид изделий при проведении испытаний приведен на рис. 4.

Анализируя полученные графики прогибов плит по типу 1 (см. рис. 5а) и по типу 2 (см. рис. 5б), в зависимости от нагрузки, можно отметить, что теоретические значения (показаны на графиках пунктирной линией) и экспериментальные результаты имеют хорошую сходимость (18-26%) на участке загрузки до 10т для плит по типу 1 и до 8т для плит по типу 2.



Рис. 4. – Фотофиксация результатов испытания multifunctionальной плиты по типу 2

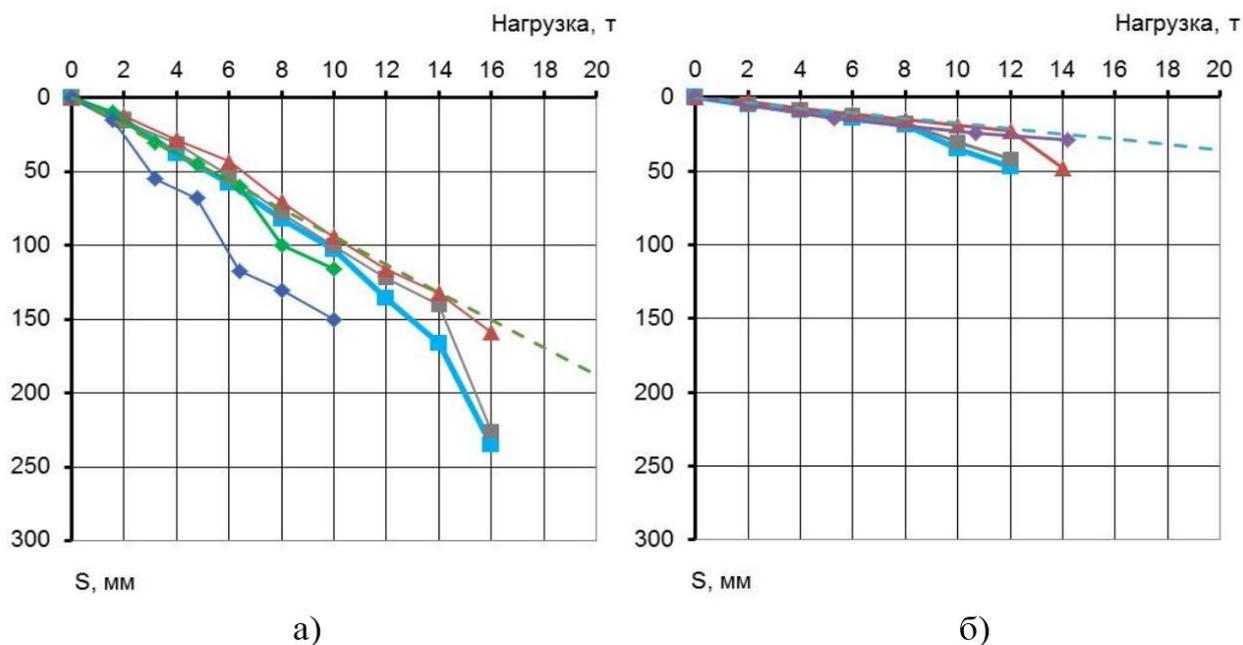


Рис. 5. – Графики прогибов multifunctionальной плиты

При увеличении нагрузки для плит проявляется нелинейная зависимость, обусловленная для плит по типу 1 уменьшением изгибной

жесткости за счет увеличенной сдвиговой податливости из-за смятия в местах крепления болтов и разрушением отдельных растянутых продольных досок нижнего слоя, а для плит по типу 2 - переходом отдельных наиболее напряженных зон стальных элементов в стадию пластической работы и местной потерей устойчивости сжатых полок с последующим переходом в закритическую область работы конструкции.

Заключение

Проведенные испытания многофункциональных плит позволили получить данные об их фактической несущей способности и деформативности, о предельных состояниях конструкций, выполнить сравнение теоретических предпосылок и экспериментальных данных. Наиболее трудным при теоретической оценке оказалось определение продольной жесткости плит по типу 1. Испытания позволили решить данную проблему и позволили сделать вывод о необходимости более детального и тщательного исследования влияния способов крепления досок между собой на изгибные характеристики плиты в целом.

Изучение работы многофункциональных плит при стандартной схеме испытания на прочность позволяет с достаточной уверенностью прогнозировать их поведение в реальных условиях работы на грунтовом основании в качестве временных дорожных покрытий, покрытий вертолетных площадок и площадок буровых установок.

Литература

1. Курбанов А. А., Люлевич Д. А., Титов Д. В. Плита "р-ТЭК" модульного дорожного покрытия для сборно-разборных временных дорог и площадок. Патент № 152159. Бюл. 2015 г. № 13 URL: patents.s3.yandex.net/RU152159U1_20150510.pdf.

1. 2. Кацовский М.Я. Мат, предназначенный для обустройства временных дорог или использования на промышленной площадке. Патент № 113744 Бюл. 2012 г. №6. URL: patents.s3.yandex.net/RU113744U1_20120227.pdf.

3. Денисов С. А., Буйнова О. В., Поляков А. Л., Червякова С. С. Плита модульного дорожного покрытия для сборно-разборных временных дорог и площадок. Патент № 197135. Бюл. 2020 г. № 10 URL: patents.s3.yandex.net/RU197135U1_20200402.pdf.

4. Шестаков А. В. Конструкция сборно-разборного настила, паллет настила и замок для соединения паллетов. Патент № 90802. Бюл. 2010 г. № 1. URL: patents.s3.yandex.net/RU90802U1_20100120.pdf.

5. Кучукбаева К. А., Калошина С. В. Применение модульных дорожных покрытий при строительстве нефтегазопромысловых дорог // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2018. – Т. 1. – с. 142-145.

6. Максимов Е. Ю. Чекардовский С. М. Разработка мобильных дорожных покрытий для обустройства переходов через естественные, искусственные препятствия при сооружении и эксплуатации магистральных нефтепроводов АО "Транснефть-Сибирь" // Нефтегазовый терминал: сборник научных статей памяти профессора Н. А. Малюшина / Под общей редакцией С. Ю. Торопова. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2016. – с. 54-58.

7. Шитарев В. А., Коркишко О. А. Современные технологии при устройстве лежневых дорог для обустройства нефтяных и газовых месторождений // Инженерный вестник Дона. – 2016. – № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3892.

8. Тухарели В. Д., Тухарели А. В., Очиров Н. Д. Особенности организации строительства объектов нефтегазовой отрасли // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5088.

9. Surianinov M., Neutov S., Korneieva I., Kirichenko D. Laboratory tests of the steel fiber concrete road slab model. // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2021. URL: researchgate.net/publication/352973655_Laboratory_tests_of_the_steel_fiber_concrete_road_slab_model.

10. Demyanushko I., Nadezhdin V., Stain V., Titov O. Digital modeling of the mechanics of mobile road pavements made of high-molecular low-pressure polyethylene for application in the Arctic // Transportation Research Procedia, St. Petersburg, 02–04.06.2021. – St. Petersburg, 2021. – pp. 127-135.

References

1. Kurbanov A. A., Lyulevich D. A., Titov D. V. Plita "r-TEK" modul'nogo dorozhnogo pokrytiya dlya sborno-razbornykh vremennykh dorog i ploshchadok. [Plate "r-TEK" of modular pavement for temporary roads and platforms]. Patent № 152159. Byul. 2015 № 13 URL: patents.s3.yandex.net/RU152159U1_20150510.pdf.

2. Katsovskiy M.Ya. Mat, prednaznachennyy dlya obustroystva vremennykh dorog ili ispol'zovaniya na promyshlennoy ploshchadke [Mat for temporary roads or industrial site]. Patent № 113744. Byul. 2012 № 6 URL: patents.s3.yandex.net/RU113744U1_20120227.pdf.

3. Denisov S. A., Buynova O. V., Polyakov A. L., Chervyakova S. S. Plita modul'nogo dorozhnogo pokrytiya dlya sborno-razbornykh vremennykh dorog i ploshchadok. [Modular pavement plate for temporary roads and squares] Patent № 197135, Byul. 2020 №10. URL: patents.s3.yandex.net/RU197135U1_20200402.pdf.

4. Shestakov A. V. Konstruktsiya sborno-razbornogo nastila, pallet nastila i zamok dlya soyedineniya palletov [Construction of collapsible flooring, pallet



flooring and a lock for connecting pallets]. Patent № 90802. Byul. 2010. №1. URL: patents.s3.yandex.net/RU90802U1_20100120.pdf.

5. Kuchukbaeva K. A., Kaloshina S. V. Modernizacija i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse. 2018. T. 1. pp. 142-145.

6. Maksimov E. Ju., Chekardovskij S. M. Neftegazovyy terminal: sbornik nauchnyh statej pamjati professora N. A. Maljushina. Pod obshhej redakciej S. Ju. Toropova. Tjumen': Tjumenskij industrial'nyj universitet, 2016. pp. 54-58.

7. Shitarev V. A., Korkishko O. A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2016. № 4. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3892>.

8. Tuhareli V. D., Tuhareli A. V., Ochirov N. D. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5088.

11. Surianinov M., Neutov S., Korneieva I., Kirichenko D. IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2021. URL: researchgate.net/publication/352973655_Laboratory_tests_of_the_steel_fiber_concrete_road_slab_model.

12. Demyanushko I., Nadezhdin V., Stain V., Titov O. Transportation Research Procedia, St. Petersburg, 02–04.06.2021. St. Petersburg, 2021. pp. 127-135.