

УДК 625.7/.8

**Т. К. Акчурина^а, А. Б. Бондарев^б, В. А. Стурова^б, А. С. Колобанов^б,
В. К. Жидков^б, О. В. Бурлаченко^а**

^а *Волгоградский государственный технический университет*

^б *Липецкий государственный технический университет*

ПЕРЕХОДНЫЕ ПЛИТЫ ИЗ СТАЛЕШЛАКОФИБРОБЕТОНА В КОНСТРУКЦИЯХ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Описана структурная схема реализации результатов исследований и создания материалов на основе сталефиброшлакобетона, перечислены факторы, оказывающие влияние на работу переходных плит, и возникающие в результате этого дефекты и повреждения. Приведена оценка технического состояния переходной плиты, посчитан экономический эффект от применения нового материала взамен традиционного.

К л ю ч е в ы е с л о в а: сталефиброшлакобетон, переходная плита, мостовое сооружение.

Введение

Мосты и мостовые переходы играют немаловажную роль в дорожно-транспортной инфраструктуре, строительство этих сооружений помогает преодолеть как естественные, так и искусственно созданные препятствия, значительно сокращая расстояние и время, потраченное на объездные пути. Согласно статистике, за последние десятилетия скорость движения на автомобильных дорогах заметно возросла, и оказалось, что наиболее резкие толчки автомобили испытывают именно на подходах к мостам, где наблюдаются крайне небезопасные для быстродвижущегося транспорта просадки покрытия. С учетом того, что в среднем на каждый километр дороги приходится то или иное мостовое сооружение, все деформации насыпи возле искусственных сооружений приводят не только к резкому снижению скорости, но и увеличению себестоимости перевозок. Поэтому при строительстве мостов и мостовых переходов особое внимание уделяется сопряжению автомобильных дорог с насыпью — переходным плитам.

Конструктивно переходные плиты представляют собой плиту прямоугольной формы и прямоугольного сечения. В некоторых случаях применяются плиты с косым четырехугольным сечением с углом пересечения 50...75°. Конструкция переходной плиты может иметь консольный выступ для лучшего опирания на пролетное строение. Особенностью конструкции переходных плит сопряжения является возможность их изготовления с двусторонним выпуском арматуры для облегченной связки монтируемых плит. Благодаря этому можно сократить время монтажа изделий и увеличить прочность сопряжения, т. к. плиты после связки представляют уже единую совместно работающую, конструкцию. Традиционно изготавливаются железобетонные переходные плиты, которые применяются в мостовом строительстве для сопряжения автодорожных мостов, мостовых переходов и путепроводов с насыпями в зоне проезжей части. Однако в статье рассмотрена возможность применения плит из сталефиброшлакобетона (СФШБ) [1].

Материалы и методы

На рисунке 1 приведена схема создания и практической реализации исследований материалов на основе сталефиброшлакобетона.



Рис. 1. Структурная схема создания и реализации результатов исследований материалов на основе СФШБ

Переходные плиты следует выполнять, как правило, сборно-монолитными из бетона класса В30, маркой по водопроницаемости W6, с морозостойкостью, соответствующей району строительства.

Уязвимым местом в конструкциях мостовых сооружений является сопряжение моста с насыпью. Типовая конструкция сопряжения мостового сооружения с насыпью подхода представляет собой железобетонную плиту, опирающуюся одним концом на шкафную стенку устоя, а другим — на железобетонный лежень на цементобетонном или щебеночном основании (рис. 2).

В соответствии с этой схемой процесс исследования работы конструкции протекает в несколько этапов.

На первом этапе выявляются основные опасные факторы, влияющие на работоспособность конструкции (переходной плиты).

На конструкцию переходной плиты оказывают влияние временные подвижные нагрузки (A14, H14) и постоянно действующие — от нижележащих слоев дорожной одежды и от собственного веса плиты.

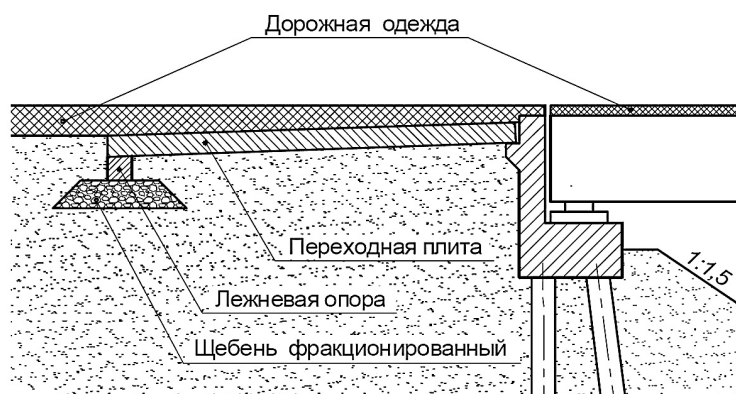


Рис. 2. Сопряжение мостового сооружения с насыпью

Существенное влияние на работу плит оказывает влажность грунта, его гранулометрический состав. В результате этих воздействий в рассматриваемой конструкции зарождаются и развиваются следующие дефекты и повреждения:

- волны и просадки плит глубиной 1...15 см;
- частичное вымывание грунта из-под переходной плиты;
- повреждение переходных плит со смещением;
- сползание с первоначального (проектного) места опирания;
- обрушение переходной плиты;
- обрушение свода дорожной одежды.

На рисунках 3—6 приведены основные дефекты и повреждения переходных плит на примере путепровода в районе п. Новая Жизнь в Липецкой области. Резкие переломы продольного профиля вызваны сползанием переходных плит с упоров на шкафной стенке и их обрушением. Образование просадок и перепадов высот за шкафной стенкой возможны из-за различных жесткостей моста и подходов, а также несовершенства конструкций деформационных швов [2].



Рис. 3. Просадка переходной плиты



Рис. 4. Поперечная трещина в переходной плите



Рис. 5. Сеть трещин с шириной раскрытия до 5 мм

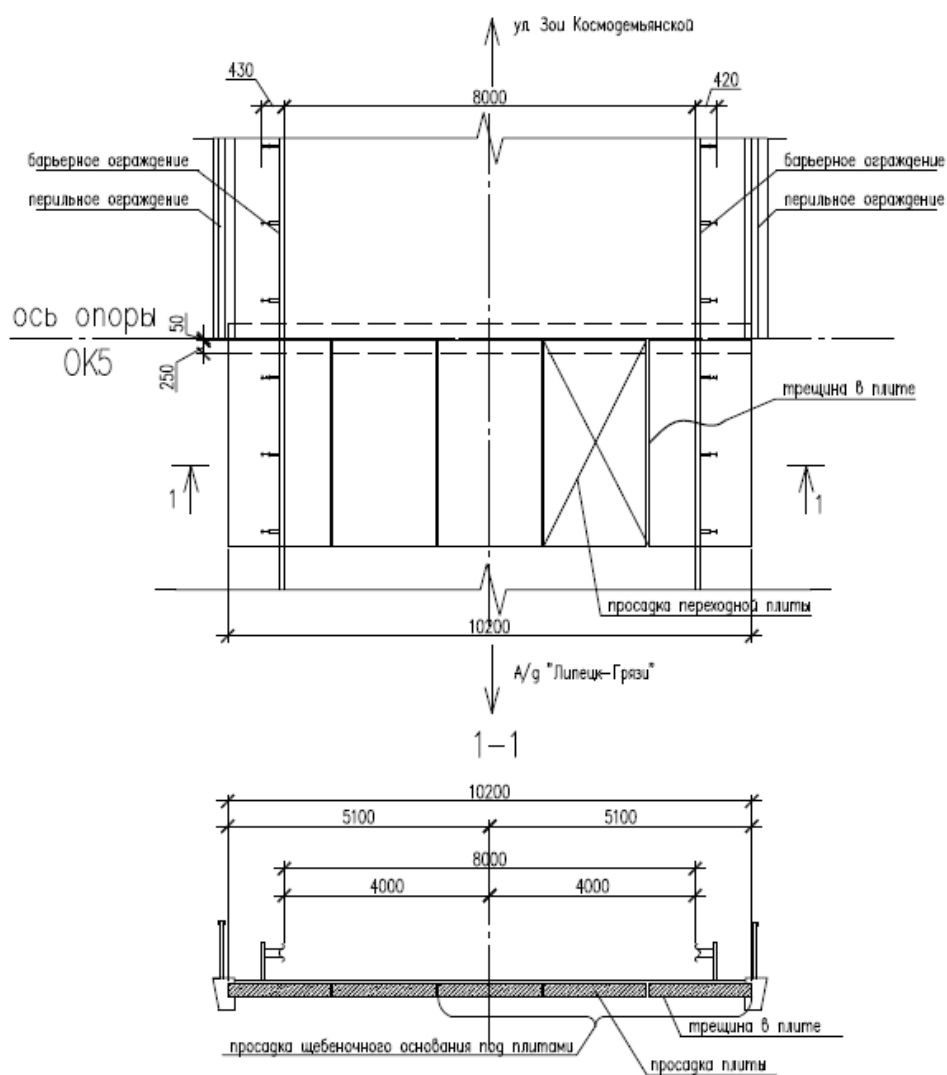


Рис. 6. Схема повреждений переходных плит

Концентрация горизонтальных сил при резком изменении жесткости покрытия в стыке между мостовым сооружением и подходами ведет к сдвигу слоев асфальтобетонного покрытия. Колебание конструкции автомобиля (его подрессорной массы), пересекающего зону просадки переходной плиты, ведет к образованию поперечных наплывов [3].

На втором этапе производится оценка фактического состояния материалов эксплуатируемой конструкции, определяется ее износ в соответствии с ОДМ 218.0.018-05¹. Техническое состояние сопряжения моста с насыпью оценивается по техническому состоянию переходной плиты, а также по значениям профиля покрытия на участке 25 м с каждой стороны моста. Наибольшее влияние на износ сопряжения моста с насыпью оказывает наличие просадок перед мостом. Состояние сопряжения по показателю «переходная плита» оценивается по таблице.

Оценка технического состояния переходной плиты

Вид повреждения (дефекта)	Степень развития дефекта	Износ, И _з , %
Вымывание грунта из-под переходных плит:		
Частичное, из-под крайних плит	На длине: до 1,0 м	5
	до $l_{пл}/2$	10
	более $l_{пл}/2$	20
Значительное, на большой площади F	$F = 50\%$ (от общего площади переходных плит)	40
	$F = 50\%$	60
	$F > 50\%$	70
Полное вымывание грунта под переходными плитами и за ригелем устоя с образованием глубоких ниш	$F = 100\%$	80
Смещение и деформация плит		
Смещение плит с мест опирания без обрушения	крайние плиты	20
	50 % средних плит	40
	100 % всех плит	60
Обрушение плит или их разрушение	крайние плиты	50
	50 % средних плит	70
	> 50 % всех плит	80
Обрушение плит с обрушением свода одежды	по крайним участкам	70
	на ширине $\geq 50\%$ от ширины проезжей части	100

На третьем этапе разрабатываются мероприятия по восстановлению и защите конструкций переходных плит из СФШБ в конструкции гибкой неразрезной переходной плиты. На рисунках 7 и 8 приведены схемы таких плит и их работа на различных этапах загрузки.

Предпосылкой для расчета является предположение, что переходная плита заделана одним концом в стыке моста и подхода, а другим концом опирается на лежень. При этом работа переходной плиты происходит в две стадии. Сначала происходит смещение плиты вместе с лежнем на величину δ

¹ ОДМ 218.0.018-05. Определение износа конструкций и элементов мостовых сооружений на автомобильных дорогах. URL: <https://elima.ru/docs/?id=4609>.

(рис. 8). На второй стадии работы к постоянной нагрузке добавляется временная подвижная нагрузка НК-100 (Н14), происходит поворот сечения в заделке на угол α . Далее, зная перепад высот моста и подхода, характеризующийся высотой Δ и предельным переломом $i_{пр}$, определим достаточную длину плиты по условиям плавности:

$$l = \frac{\delta}{i_{пр}}, \quad (1)$$

где $\delta = \Delta_0$ — величина просадки плит; $i_{пр}$ — предельный угол перелома продольного профиля на подходе.

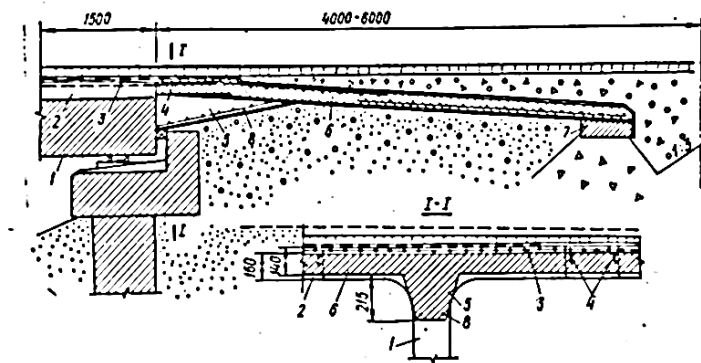


Рис. 7. Гибкая переходная плита температурной неразрезности над устоем:
1 — стенка балки; 2 — плита балки; 3 — арматура плиты; 4 — анкерение плиты; 5 — ребро плиты; 6 — гибкая переходная плита; 7 — лежень; 8 — арматура ребра плиты

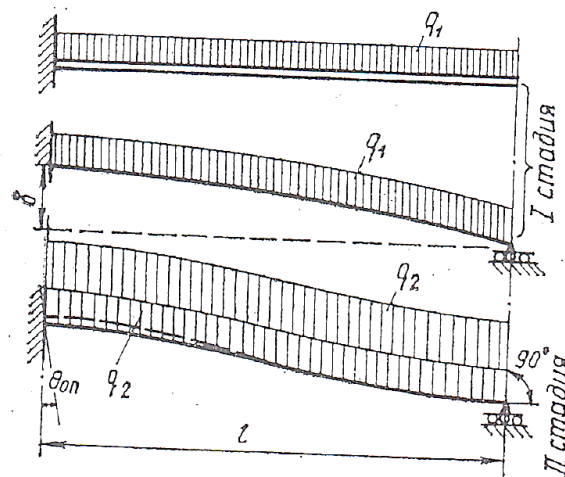


Рис. 8. Деформированное состояние гибкой переходной плиты

Определяем необходимое значение жесткости, обеспечивающее перемещение свободного конца переходной плиты, вызванное просадкой переходной плиты:

$$j = \frac{a_1 l^4}{8EJ}, \quad (2)$$

где a_1 — равномерно распределенная нагрузка от веса конструкции ездового полотна; l — длина плиты.

Определяем расчетную величину пролета балки при действии нагрузки a_1 :

$$\begin{aligned} \sum \Theta^{\pi} &= \frac{ql^3}{24EJ} - \frac{M_{\text{оп}} l}{3EJ} - \frac{\delta}{l} + \Theta = 0, \\ \sum \Theta^{\text{np}} &= \frac{ql^3}{24EJ} - \frac{M_{\text{оп}} l}{3EJ} + \frac{\delta}{l} = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

откуда

$$l^4 + 24 \frac{EJ}{q} \Theta_{\text{оп}} l - 72 \frac{EJ}{1} \delta = 0, \quad (4)$$

тогда

$$M_{\text{оп}} = \frac{ql^2}{8} + 3 \frac{EJ}{l} \left(\frac{\delta}{l} - \Theta_{\text{оп}} \right). \quad (5)$$

Полученные значения в (4) и (5) сравниваем с полученными в (3). По (5) устанавливается величина изгибающего момента и даются рекомендации по армированию плиты.

Плита крепится к пролетному строению через сетку, заложенную в стяжку на расстоянии от края балки 1,5 м; 15 % арматуры в виде стержней заводится на расстоянии 1,5 м встык сборных конструкций плиты проезжей части. Эта арматура продлевается в плите в соответствии с эпюрой моментов. Пролетная часть плиты армируется сеткой.

Наиболее приемлема величина толщины плит для насыпей высотой до 8,0 м — 10...15 см. Для восприятия опорного момента и во избежание концентрации напряжений в месте заделки стыка следует утолщать плиту до 20 см. Остальные этапы создания СФШБ изложены в [4—9].

Технико-экономическое обоснование применения исследуемых материалов в конструкциях переходных плит

Оценка годовой экономической эффективности применения исследуемых материалов в конструкциях переходных плит проведена по методике, разработанной В. В. Потуровым [10].

В соответствии с этой методикой экономическая эффективность применяемых решений оценивается по формуле:

$$\mathcal{E} = (C_0 + E_n K_c) - (C_n + E_n K_n), \quad (6)$$

где C_0 и C_n — годовые эксплуатационные расходы по традиционному и новому вариантам конструкций. В качестве традиционного применяется армирование плиты обычной стальной арматурой (рис. 9), новый же вариант —

это плита, изготовленная с применением СФШБ. Далее, K_n и K_c — капиталовложения по вариантам; E_n — экономический эффект.

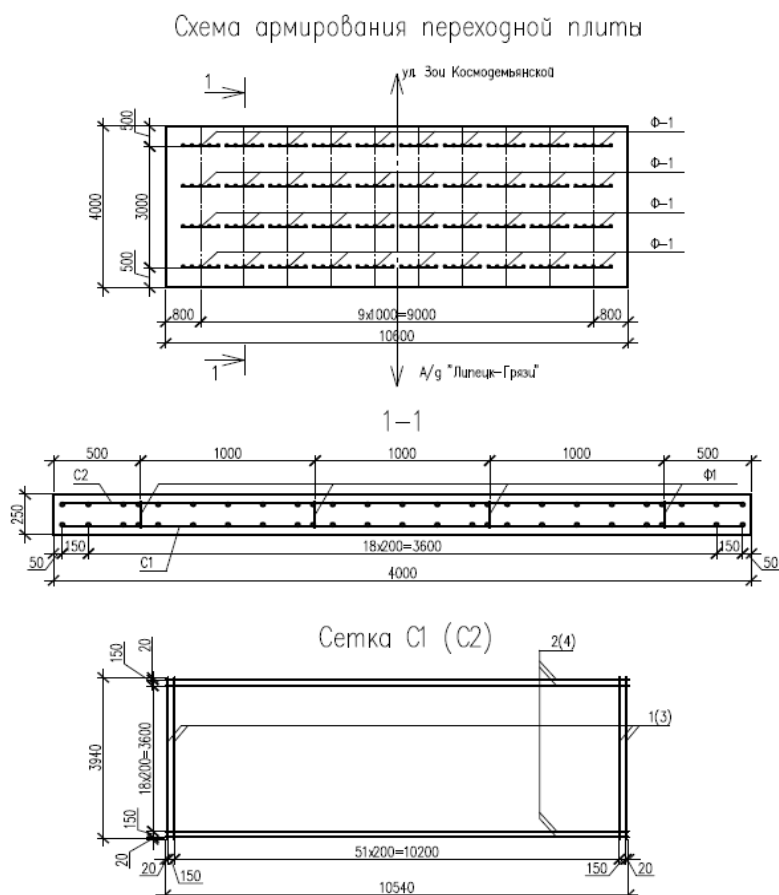


Рис. 9. Схема армирования переходной плиты по традиционной технологии

Экономическая эффективность применяемых решений с учетом эксплуатационных расходов составила 19 265,2 руб.

Выводы

Таким образом, замена переходных плит, выполненных по традиционной технологии и с типовым армированием на плиту из СФШБ дает экономический эффект в размере 19,3 т. руб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стурова В. А. Сталефибробетон с применением отходов местных производств для транспортных сооружений // Строительные материалы. 2023. № 1-2. С. 44—49.
2. Митин Д. И. Проектная документация. Ремонт мостового перехода через реку Птань на км 32+459 автомобильной дороги Данков — Теплое — Воскресенское — граница Тульской области в Данковском районе Липецкой области. Липецк : ООО «ЛипецкНИЦстройпроект», 2022.
3. Бондарев Б. А., Черноусов Н. Н., Черноусов Р. Н., Стурова В. А. Исследование разрушения дорожных плит из сталефиброшлакобетона при продавливании // Транспортное строительство. 2018. № 7. С. 10—12.

4. Полимерные композиционные материалы в переходных плитах сооружений транспортной инфраструктуры / Б. А. Бондарев, А. Б. Бондарев, П. В. Борков, В. К. Жидков, Д. А. Копалин, Р. Е. Савельев // Вестник Липецкого государственного технического университета. 2022. № 3(49). С. 62—71.

5. Основные дефекты и повреждения конструкций транспортных сооружений — переходных плит, элементов покрытия ездового полотна и возможность их устранения / В. А. Стурова, Б. А. Бондарев, Н. Н. Черноусов, А. Б. Бондарев, В. К. Жидков // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт : материалы IX-й международ. науч.-практ. конф. Тамбов : Изд-во ИП Чеснокова, 2022. С. 180—183.

6. Бондарев Б. А., Стурова В. А., Ливенцева А. А. Применение фибробетона в транспортных сооружениях // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы международ. академических чтений. Курск : Университетская книга, 2023. С. 243—247.

7. Аналитические зависимости влияния плотности материала на прочность и деформативность конструкционного бетона при осевом сжатии / Н. Н. Черноусов, Б. А. Бондарев, В. А. Стурова, А. Б. Бондарев, А. А. Ливенцева // Строительные материалы. 2022. № 5. С. 58—67.

8. Бондарев Б. А., Стурова В. А., Костин С. В. Применение сталефиброшлакобетона в элементах конструкций транспортных сооружений // Эффективные конструкции, материалы и технологии в строительстве: материалы международ. науч.-практ. конф. Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2019. С. 14—18.

9. Бондарев Б. А., Черноусов Н. Н., Черноусов Р. Н., Стурова В. А. Сталефибробетон в дорожных покрытиях // Мир дорог. 2017. № 101. С. 67—68.

10. Потуроев В. В. Полимербетоны. М. : Стройиздат, 1987. 268 с.

© Акчурин Т. К., Бондарев А. Б., Стурова В. А., Колобанов А. С.,
Жидков В. К., Бурлаченко О. В., 2024

Поступила в редакцию
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Переходные плиты из сталешлакофибробетона в конструкциях мостовых сооружений / Т. К. Акчурин, А. Б. Бондарев, В. А. Стурова, А. С. Колобанов, В. К. Жидков, О. В. Бурлаченко // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 99—108. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_99.

Об авторах:

Акчурин Талгат Кадимович — советник РААСН, канд. техн. наук, проф., проф. каф. строительных материалов и специальных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; Scopus ID: 57190967539; info@vgasu.ru

Бондарев Александр Борисович — канд. техн. наук, доц. каф. строительного материаловедения и дорожных технологий, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30; smidt48@mail.ru

Стурова Виктория Андреевна — ассистент каф. строительного материаловедения и дорожных технологий, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398004, г. Липецк, ул. Московская, 30; v-livenceva@mail.ru

Колобанов Алексей Сергеевич — канд. техн. наук, доц., секретарь ученого совета университета, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398055, г. Липецк, ул. Московская, 30; kolobanov_as@stu.lipetsk.ru

Жидков Владимир Константинович — аспирант каф. строительного материаловедения и дорожных технологий, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30; mailbox@stu.lipetsk.ru

Бурлаченко Олег Васильевич — д-р техн. наук, проф., зав. каф. технологий строительного производства, зам. директора по научной работе, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ORCID: 0000-0003-1477-2709; burlachenkoov@vgasu.ru

**Talgat K. Akchurin^a, Alexander B. Bondarev^b, Victoria A. Sturova^b,
Aleksei S. Kolobanov^b, Vladimir K. Zhidkov^b, Oleg V. Burlachenko^a**

^a *Volgograd State Technical University*

^b *Lipetsk State Technical University*

TRANSITION PLATES FROM STEEL SLAG FIBER CONCRETE IN BRIDGE STRUCTURES

The work describes a structural diagram of the creation and implementation of the results of research into materials based on steel fiber slag concrete (SFSC) lists the factors that influence the operation of the slabs and the resulting defects and damage. An assessment of the technical condition of the transition slab is given and the economic effect of using a new material instead of the traditional one is calculated.

Key words: steel fiber slag concrete, transition slab, bridge structure.

For citation:

Akchurin T. K., Bondarev A. B., Sturova V. A., Kolobanov A. S., Zhidkov V. K., Burlachenko O. V. [Transition plates from steel slag fiber concrete in bridge structures]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 2, pp. 99—108. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_99.

About authors:

Talgat K. Akchurin — Candidate of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Scopus ID: 57190967539; info@vgasu.ru

Alexander B. Bondarev — Candidate of Engineering Sciences, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398600, Russian Federation; smidt48@mail.ru

Victoria A. Sturova — Assistant of Building Materials Science and Road Technologies Department, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398600, Russian Federation; v-livenceva@mail.ru

Aleksei S. Kolobanov — Candidate of Engineering Sciences, Docent, Lipetsk State Technical University, 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398600, Russian Federation; kolobanov_as@stu.lipetsk.ru

Vladimir K. Zhidkov — Postgraduate student of Building Materials Science and Road Technologies Department, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398600, Russian Federation; mailbox@stu.lipetsk.ru

Oleg V. Burlachenko — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ORCID: 0000-0003-1477-2709; burlachenkoov@vgasu.ru