

**INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

*MOSKVINA Yulia Nikolaevna* – Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: julim@yandex.ru

**CITATION FOR AN ARTICLE**

Moskvina Yu.N. Standardization of additive technologies in construction // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2023. No. 4 (20), pp. 23–27.

УДК 624.131.5

**ЭФФЕКТИВНЫЕ ДОРОЖНЫЕ И АЭРОДРОМНЫЕ ПОКРЫТИЯ  
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА НА СЕВЕРЕ**

*В.И. Трофимов*

*Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*

© Трофимов В.И., 2023

**Аннотация.** Затронута актуальная проблема повышения эффективности работы дорожных и аэродромных цементобетонных покрытий в Арктической зоне. Отмечено, что необходимо учитывать суровые природно-климатические условия строительства, вечномерзлое состояние грунтов и высокую стоимость работ. Рассмотрены вопросы совершенствования технологии и конструкции дорожных и аэродромных плит. Предложено для изготовления дорожных плит с повышенной эксплуатационной надежностью использовать технологию многослойных плит с применением композитных материалов и изделий на полимерной основе. Обосновано исполнение дорожной плиты сборной – двухслойной или трехслойной, где нижний и верхний слои выполняются из готовой полимерной композитной плиты. Получены положительные результаты комплексных испытаний на моделях.

**Ключевые слова:** арктические зоны, трещиностойкость, полимерная композитная плита, арматура, сборная дорожная плита.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2023-4-27-33**

Эффективное обустройство северных территорий напрямую связано с решением вопроса ускоренного строительства широкой сети дорог и аэродромов. При этом интенсивное освоение уникальных и стратегически важных для нашей страны месторождений, расположенных в удаленных районах Арктики, включая шельф, а также надежная их защита невозможны без применения новых технологических и конструктивных решений при строительстве транспортных сооружений.

Одним из сдерживающих факторов, негативно влияющих на эффективность строительства дорог (аэродромов), является преждевременное разрушение дорожного

(аэродромного) бетонного полотна, которое наиболее широко выполняется из готовых железобетонных плит [1].

### Проблема

Нижний бетонный слой дорожной (аэродромной) плиты из-за действия переменного изгибающего момента и воздействия агрессивной среды со стороны основания подвержен трещинообразованию. Верхний слой, включая торцы, за счет действия различных повышенных нагрузок, в том числе и динамических, и атмосферного воздействия (с учетом действия переменного температурного фактора) также подвержен разрушению. Становится очевидно, что необходимо либо защищать верхний и нижний слои дорожной плиты физико-химическими способами, либо совершенствовать ее конструкцию. При этом следует снижать массу плиты с учетом ее транспортирования и работы на грунтовом основании в суровых природно-климатических условиях Севера.

Одним из путей решения проблемы повышения эффективности строительства дорог и аэродромов на высокольдистых тонкодисперсных грунтах в Арктической зоне является комплексный подход, заключающийся в совершенствовании конструкции покрытия дорог (аэродромов) из дорожных (аэродромных) плит, технологии их изготовления и возможности эксплуатации в суровых и агрессивных условиях. При этом плиты должны отличаться многофункциональностью и повышенной эффективностью.

Разработан комплекс оригинальных технических решений по изготовлению более эффективных дорожных (аэродромных) плит с обеспечением надежной коррозионной защиты, повышенной трещиностойкости, облегченных и со сниженным объемом ремонтных работ.

Принципиально новым является то, что дорожная (аэродромная) плита (независимо от условий ее работы) может изготавливаться в стандартных формах, где применяется новый способ формования плиты. Она выполняется сборной с применением готовых защитно-несущих элементов – полимеркомпозитных плит, обладающих хорошими физико-механическими и эксплуатационными свойствами (рис. 1), а также с использованием новых оригинальных и технологичных способов их соединения с бетонным слоем. В целом это очень важно учитывать при работе в суровых природно-климатических условиях арктических зон.



а

б

в

Рис. 1. Пример устройства быстровозводимого временного дорожного полотна из композитных замковых плит МДП ООО «Русполимер Групп»: использование в зимних условиях (а); временное дорожное полотно (б); временная вертолетная площадка (в)

Более высокие показатели по прочности, трещиностойкости и сопротивляемости динамическим нагрузкам объясняются тем, что у полимеркомпозитного материала деформационные свойства лучше, чем у бетона. Появление трещин в бетоне не является только следствием коррозии. При испытании материала на растяжение деформация в предельном состоянии для стеклопластика составляет до 2,8 %, а для металла – 25 %. При этом в СП52-101-2003 указано, что армированные бетонные конструкции дают трещины уже при деформации растяжения 0,015 %, т.е. задолго до достижения предела прочности арматуры, независимо от ее материала (композита или стали) [2].

Для этого предлагается использовать готовую полимеркомпозитную плиту в качестве защитного слоя бетона, а также использовать оригинальные более простые – более технологичные способы соединения полимеркомпозитных плит с бетонным слоем [3, 4].

Соединение бетонного слоя с полимеркомпозитной плитой предлагается осуществлять простыми оригинальными способами, например через анкеры-бобышки, которые образуются при заполнении бетонной смесью отверстий, заранее засверленных в готовой полимеркомпозитной плите (рис. 2) (патент № 201315).

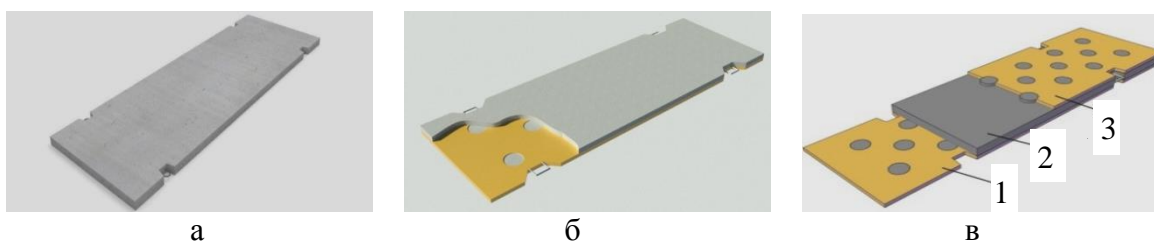


Рис. 2. Дорожные плиты: стандартная (а); двухслойная (б); трехслойная (в): 1 – нижняя полимеркомпозитная плита; 2 – бетонный армированный слой; 3 – верхняя полимеркомпозитная плита

Важными при изготовлении плит являются вопросы технологичности и надежности соединения их слоев. Например, в источнике [5] обосновывается применение в строительстве двухслойной дорожной плиты, где имеется верхний полимеркомпозитный слой, который предлагается отдельно формовать в виде плиты с укладкой специальных анкеров для соединения с бетонным слоем. Такая технология существенно увеличивает трудоемкость изготовления дорожной двухслойной сборной плиты, что резко снижает эффективность ее использования.

Для более надежного соединения слоев, а также упрощения технологии изготовления сборной дорожной плиты могут быть использованы анкеры в виде саморезов (рис. 3) (патент № 2739818) [6].

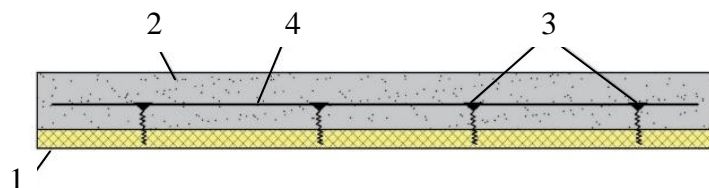


Рис. 3. Конструктивная схема сборной двухслойной дорожной плиты с креплением полимеркомпозитной плиты анкерами-саморезами: 1 – нижняя полимеркомпозитная плита; 2 – фибробетонный слой; 3 – анкеры-саморезы; 4 – полимеркомпозитная сетка

Сборная трехслойная дорожная плита содержит верхний слой из готовой полимеркомпозитной плиты 1 с анкерами-саморезами 3 и нижний из готовой полимеркомпозитной георешетки 2, соединенные с внутренним фибробетонным слоем 4 выпусками анкеров 3 и ячейками 6 георешетки 2, которые заполнены фибробетоном, армированным геосеткой 5 (рис. 4) (патент № 200921).

Разработанная сборная дорожная плита выполнена комбинированной и может работать более эффективно, чем стандартная монолитная плита, так как вся конструкция обеспечивает возможность восприятия более высоких нагрузок, включая динамические. При этом повышается технологичность выполнения основных операций по изготовлению дорожной плиты, снижается масса плиты.

Для развития разработанных новых конструктивных решений сборных плит предложено их изготавливать с натянутой полимеркомпозитной сеткой. Здесь используется оригинальное решение – фиксировать сетку и натягивать на шляпках анкеров-саморезов (рис. 5) (патент № 2760668).

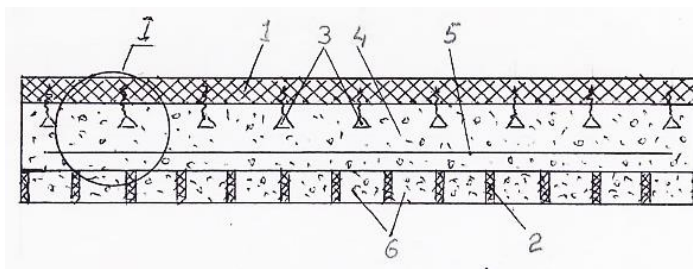


Рис. 4. Сборная трехслойная плита

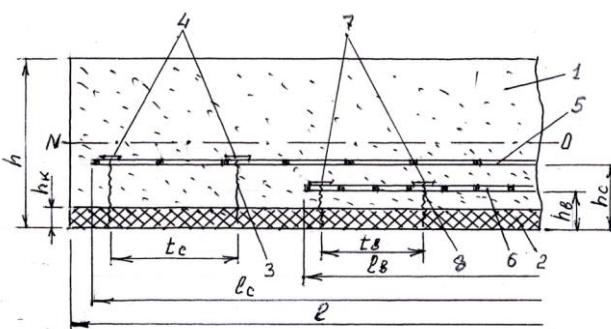


Рис. 5. Конструктивная схема сборной дорожной плиты с нижним слоем из полимеркомпозитной плиты и двумя натянутыми полимеркомпозитными сетками:  
1 – фибробетонный слой;  
2 – полимеркомпозитная плита;  
3, 8 – анкеры-саморезы;  
4, 7 – шляпки анкеров-саморезов;  
5 – полимерная композитная сетка (верхняя); 6 – вспомогательная полимеркомпозитная сетка

Эффективность работы сборной плиты повышается также благодаря использованию новой полимеркомпозитной фибры повышенного сцепления.

Многофункциональность сборной плиты обеспечивается за счет возможности ее целенаправленного конструктивного изменения в ходе изготовления в условиях цеха путем подбора соответствующих защитных полимеркомпозитных плит, композитной арматуры и композитной фибры с учетом конкретного использования:

- при обустройстве строительных, нефтегазовых и вертолетных площадок;
- устройстве мостовых переходов;

возведении железнодорожных платформ (двухслойная плита с верхним полимеркомпозитным слоем);

в дорожном строительстве (двухслойная плита с нижним полимеркомпозитным слоем);

аэродромном строительстве (трехслойная плита с верхним и нижним полимеркомпозитными слоями).

Оригинальный комплекс технических решений обеспечивает повышенную эффективность использования сборной плиты, которая достигается на стадии:

1) изготовления за счет:

высокотехнологичности, позволяющей при формовании плиты использовать стандартные формы и применять более простую технологию – технологию сборных плит, включающую использование готовых полимеркомпозитных плит-полуфабрикатов с возможностью их надежного и простого оригинального соединения с бетонным слоем через образованные или установленные особым образом анкеры (анкеры-бобышки, анкеры-саморезы и др.);

применения простого и более технологичного способа соединения слоев сборной плиты анкерами в виде саморезов, бобышек и др.;

снижения объема компонентов, используемых для приготовления смеси на одну плиту, при замещении части бетонного слоя полимеркомпозитной плитой (одной или двух), использования менее мощного формовочного оборудования, снижения стоимости плиты;

возможности полного отказа от стальной арматуры при использовании в сборной плите полимеркомпозитных изделий, а именно верхнего и нижнего слоев в виде готовых плит, арматуры, сеток (каркасов), фибры;

2) строительства за счет:

снижения массы плиты, позволяющей использовать крановое оборудование меньшей грузоподъемности (мощности);

использования автотранспорта меньшей грузоподъемности или возможности перевозки большего количества плит за одну поездку;

3) эксплуатации за счет:

снижения давления на грунтовое основание путем снижения массы плиты на 25–30 %, что повышает ее несущую способность;

обеспечения повышенной коррозионной стойкости благодаря исключению или снижению прямого контакта бетона с грунтовым основанием;

повышенной трещиностойкости бетонного слоя с предотвращением отслаивания и торцовых сколов при установке верхней полимеркомпозитной плиты;

повышенной прочности при исполнении бетонного слоя дисперсноармированным с использованием полимеркомпозитной фибры повышенного сцепления (патенты № 2490406, 2582254, 2601705);

меньшей степени обледенения при установке верхней полимеркомпозитной плиты;

повышенной надежности работы сборных плит и лучших экономических показателей.

#### **Экономическая эффективность**

Одним из способов достижения экономической эффективности является отказ от изготовления и эксплуатации преднапряженных дорожных плит и переход на использование новых ненапряженных сборных плит с восприятием тех же нагрузок. Это

позволит получить существенный экономический эффект за счет снижения затрат на их изготовление.

Можно приближенно оценить экономическую эффективность предложенной разработки. Если стоимость изготовления типовой преднапряженной дорожной (аэродромной) плиты длиной 6 м составляет 15 тыс. рублей, а стоимость изготовления ненапряженной плиты на 20 % меньше, то экономия только от использования одной новой ненапряженной сборной плиты – 3 тыс. рублей. В этом случае при строительстве, например, двухполосной дороги с укладкой четырех плит экономия на 1 км может составить 2 млн рублей.

В настоящее время другим реальным способом достижения экономической эффективности использования новых сборных дорожных плит является возможность полного отказа от применения стальной арматуры. Например, в случае замены в дорожной плите ПАГ-18 ( $6\ 000 \times 2\ 000 \times 180$ , вес 5 100 кг, ГОСТ 25912) только нижнего бетонного слоя полимеркомпозитной плитой толщиной 50 мм можно получить экономию бетона примерно на 30%! При этом необходимо учесть, что стоимость самих полимеркомпозитных материалов (сетки, арматуры и др.) для изготовления новой сборной плиты будет также меньше.

Кроме вышеназванного, с учетом того, что масса сборной плиты снижается на 25–30 % (двухслойная или трехслойная), возможно перевозить за один раз на 1–2 плиты больше тем же транспортным средством, что существенно повышает экономическую эффективность использования новой сборной плиты для транспортного строительства, особенно в условиях арктических зон. В то же время на экономическую эффективность положительно влияет то, что новые сборные плиты меньше подвержены разрушению в процессе эксплуатации и они более долговечны.

Проведенные модельные испытания новой конструкции сборной дорожной плиты, в частности двухслойной, позволяют сделать вывод, что ее исполнение с нижним слоем из готовой полимеркомпозитной плиты, а также применение композитной арматуры и новой полимеркомпозитной фибры повышенного сцепления даст возможность в будущем полностью отказаться от стальной арматуры, что улучшит физико-механические свойства дорожной бетонной плиты, значительно снизит ее массу и стоимость изготовления.

Предлагаемый комплекс технических решений актуален, так как сборные облегченные двухслойные и трехслойные плиты повышенной трещиностойкости могут найти широкое применение при строительстве дорог и аэродромов в сложных природно-климатических условиях арктических зон, особенно на тяжелонагруженных участках дорог с интенсивным движением, при обустройстве нефтегазовых месторождений, а также при организации строительных площадок и выполнении ремонтных работ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимов В.И. Повышение эффективности транспортного строительства в Арктических зонах // *Научный Вестник Арктики*. 2018. № 3. С. 31–39.
2. ПАО «Редуктор». URL: <https://izh-reduktor.ru/about/art/article/mify-o-kompozitnoj-armature.html> (дата обращения: 17.07.2023).
3. Патент РФ 201315. *Дорожная плита* / Трофимов В.И., Егоров А.Р., Васючков К.А.; Заявл. 14.07.20; Оpubл. 09.12.2020. Бюл. № 34. 7 с.
4. Патент РФ 2739818 С1. *Дорожная плита* / Трофимов В.И.; Заявл. 25.06.2020; Оpubл. 28.12.2020. Бюл. № 1. 9 с.

5. Патент РФ 2667396. *Способ устройства дорожного покрытия повышенной долговечности* / Сушенцев Б.Н.; Заявл. 22.11.2017; Опубл. 19.09.2018. Бюл. № 26. 16 с.
6. Трофимов В.И., Цыбина Р.З., Хитрич Г.А. Оценка несущей способности анкеров сборной дорожной плиты с нижним композитным слоем на полимерной основе // *Саморазвивающаяся среда технического вуза: научные исследования и экспериментальные разработки: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции*. Тверь: ТвГТУ. 2022. С. 53–57.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

*ТРОФИМОВ Валерий Иванович* – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: vitrofa@mail.ru

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Трофимов В.И. Эффективные дорожные и аэродромные покрытия для строительства на Севере // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2023. № 4 (20). С. 27–33.

---

### EFFICIENT ROAD AND AIRPORT PAVEMENTS FOR CONSTRUCTION IN THE NORTH

*V.I. Trofimov*

*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** The article concerns the current problem of increasing the efficiency of road and airfield cement concrete pavements in the Arctic zone. To do this, it is necessary to take into account the harsh natural and climatic conditions of construction, the permafrost condition of the soil and the high cost of work. The article discusses issues of improving the technology and design of road and airfield slabs. It is proposed to use multilayer slab technology using composite materials and polymer-based products to produce road slabs with increased operational reliability. The design of the prefabricated road slab is justified - two-layer or three-layer, where the lower and upper layers are made of a ready-made polymer composite slab. Positive results of complex tests on models were obtained.

**Keywords:** arctic zones, crack resistance, polymer composite slab, reinforcement, prefabricated road slab.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

*TROFIMOV Valery Ivanovich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vitrofa@mail.ru

#### CITATION FOR AN ARTICLE

Trofimov V.I. Efficient road and airport pavements for construction in the North // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2023. No. 4 (20), pp. 27–33.