Ведерников Д.Е., Татьянников Д.А. Техничко-экономическое сравнение устройства временных дорог на слабых грунтах // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8, № 1. – С. 156–166. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.14

Vedernikov D.E., Tat'iannikov D.A. Technical and economic comparison of building of temporary roads on weak soil. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture*. 2017. Vol. 8, no. 1. Pp. 156-166. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.14

**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 8, № 1, 2017
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2017.1.14

УДК 624.15

Статья отозвана по инициативе редакции журнала по причине указания сведений, не соответствующих действительности. Дата отзыва: 05.07.2018 г.

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ УСТРОЙСТВА
ВРЕМЕННЫХ ДОРОГ НА СЛАБЫХ ГРУНТАХ**

Д.Е. Ведерников, Д.А. Татьянников

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 30 декабря 2016
Принята: 17 января 2017
Опубликована: 30 марта 2017

Ключевые слова:

методы улучшения основания, конструктивный метод, армированный грунт, временная дорога, каркасная сетка «Росомаха»

АННОТАЦИЯ

Строительство в сложных инженерно-геологических условиях всегда сопряжено с дополнительными затратами на устройство оснований, фундаментов и временных дорог. Существенно сократить затраты на их строительство позволяет увеличение физико-механических свойств грунтов оснований. Как показали исследования различных ученых, наиболее перспективным и экономически целесообразным является конструктивный метод улучшения основания. Для изучения разных способов устройства временных дорог на слабом основании авторами данной статьи были выделены критерии, по которым следует оценивать различные варианты: время и стоимость устройства, возможность повторного использования материалов (оборачиваемость), необходимость применения специализированной техники. Выполнено технико-экономическое сравнение трех способов строительства временных дорог на слабом основании: частичная замена слабых грунтов основания насыпными грунтами (устройство щебеночного основания), устройство из дорожных плит, а также с применением каркасной сетки «Росомаха». Лучшие результаты по стоимости и оборачиваемости показал вариант с использованием каркасной сетки «Росомаха», являющейся разработкой завода ПАО «КЗМС». В дальнейшем планируется проводить другие исследования с ее применением (численное моделирование, мониторинг опытного участка временной дороги).

© ПНИПУ

© **Ведерников Дмитрий Евгеньевич** – студент, e-mail: spstf@pstu.ru.
Татьянников Даниил Андреевич – аспирант, e-mail: spstf@pstu.ru.

Dmitrii E. Vedernikov – Student, e-mail: spstf@pstu.ru.
Daniil A. Tat'iannikov – Postgraduate Student, e-mail: spstf@pstu.ru.

TECHNICAL AND ECONOMIC COMPARISON OF BUILDING TEMPORARY ROADS ON WEAK SOILS

D.E. Vedernikov, D.A. Tat'iannikov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 30 December 2016
Accepted: 17 January 2017
Published: 30 March 2017

Keywords:

soil improving methods, the constructive method, reinforced soil, temporary road, wireframe mesh "Rosomakha"

ABSTRACT

Construction in difficult geological conditions always entails additional costs related to building road basements and ground foundations of temporary roads. In order to reduce the cost of constructing road basements and ground foundations of temporary roads, physical and mechanical properties of the foundation soil should be increased. As shown by different authors, the most promising and cost-effective method is the constrictive method of soil improvement. To investigate different ways of building temporary roads on weak soils, the authors identified certain criteria which should be considered for the evaluation of different options, such as building time, building costs, the secondary use of materials (circulation) and the need in using specialized equipment. In this research the authors made a technical and economic comparison of the three methods of building temporary roads on weak soils, such as a partial replacement of weak soils with backfills (macadamization); building temporary roads consisting of road slabs; building temporary roads using the "Rosomakha" wireframe. The best combined results in value and circulation are shown when the "Rosomakha" wireframe is used. This wireframe has been developed at PAO "KZMS" factory. In the future the authors plan to make further researches using this wireframe (numerical modeling, monitoring a pilot section of a temporary road).

© PNRPU

Введение

При строительстве временных дорог на слабых грунтах в настоящее время используют следующие методы улучшения строительных свойств грунтов оснований: конструктивный, уплотнение, закрепление.

Наиболее перспективным из них является конструктивный метод [1, 2] улучшения основания, так как его использование обладает рядом достоинств, а именно:

- универсальность;
- надежность оснований;
- простота применения;
- возможность механизации всего цикла производства работ;
- применение недорогих местных материалов;
- удобство контроля качества выполняемых работ.

В данном исследовании рассмотрены три конструктивных способа строительства временных дорог:

1. *Частичная замена слабых грунтов основания насыпными грунтами.* Данная технология устройства временной дороги включает разравнивание бутового камня одноковшовыми экскаваторами и предварительную планировку поверхности слоя бутового камня. После получения проектных высотных отметок выполняется укатка бутового камня катками массой до 20 т. При достижении проектного коэффициента уплотнения все предыдущие операции выполняются повторно для следующего слоя из щебня фракции 40–70 мм.

2. *Устройство временной дороги из дорожных плит.* Данная технология устройства временной дороги включает следующие этапы: устройство основания из щебня фракции 40–70 мм – 0,3 м, укатка оснований из щебня фракции 40–70 мм с помощью катков до проектного коэффициента уплотнения, затем монтаж дорожных плит с помощью стрелового крана [3].

3. *Устройство временной дороги с применением каркасной сетки «Росомаха».* Сотрудниками кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета была разработана типовая технологическая карта на устройство временной дороги, включающая основные операции: укладку сетки «Росомаха», устройство подушки из щебня фракции 40–70 мм – 0,15 м, укатка щебня фракции 40–70 мм [4].

Для технико-экономического сравнения выбранных вариантов временных дорог приняты следующие критерии оценки [5]: время устройства, стоимость устройства, оборачиваемость, необходимость применения специализированной техники.

Инженерно-геологические условия были приняты одинаковыми для всех трех способов устройства временных дорог (табл. 1).

Инженерно-геологические условия
Engineering-geological conditions

Таблица 1

Table 1

Наименование ИГЭ	Нормативные значения характеристик грунтов			Модуль деформации, МПа
	Плотность грунта, г/см ³	Удельное сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, град	
Суглинок, ИГЭ-1	1,87	24	18	8,5
Суглинок текучепластичный, ИГЭ-2	1,91	11	7	2,4
Супесь пластичная, ИГЭ-3	2,04	16	27	4,5
Супесь гравелистая пластичная (eQ), ИГЭ-4	2,09	13	24	16
Суглинок полутвердый (eQ), ИГЭ-5	2,00	57	33	4,4

Расчет выполнен для устройства 100 м временной дороги шириной 4,5 м.

1. Частичная замена слабых грунтов основания насыпными грунтами

Для устройства временных дорог по данному способу необходимо выполнить конструкцию дорожной одежды согласно рис. 1.

Для реализации данного варианта строительства временной дороги необходимы следующие средства механизации: самосвал на автомобильном шасси 25 т; экскаватор с объемом ковша 0,4 м³; каток двухвальцовый 20 т.

Площадь выполняемой временной дороги равна $100 \cdot 4,5 = 450 \text{ м}^2$.

Требуемое время на устройство данного способа – 2,5 смены по 8 ч, т.е. 20 рабочих часов.

Прямые затраты приведены в табл. 2.

План временной дороги

Разрез 1–1

Рис. 1. Схема устройства временной дороги способом частичной замены слабых грунтов основания насыпными грунтами

Fig. 1. Scheme of the temporary road according to the first option

Таблица 2

Прямые затраты на строительство временной дороги способом частичной замены слабых грунтов основания насыпными грунтами

Table 2

Direct costs of the 1st option of building a temporary road

№ п/п	Материал/техника	Ед. изм.	Объем	Цена за единицу, руб.	Стоимость, руб.
1	Бутовый камень фракции 100–300 мм	г	266,76	940	250 754,40
2	Щебень фракции 40–70 мм	т	289,17	770	222 660,90
3	Экскаватор	ч	20	1300	26 000,00
4	Каток	ч	20	2100	42 000,00
Итого					541 415,30

2. Устройство временной дороги из дорожных плит

Для устройства временных дорог по данному варианту необходимо выполнить конструкцию дорожной одежды согласно рис. 2.

План временной дороги

Разрез 1–1

Рис. 2. Схема устройства временной дороги из дорожных плит

Fig. 2. Scheme of the temporary road built according to the second option

Для реализации данного варианта строительства временной дороги необходимы следующие средства механизации: самосвал на автомобильном шасси 25 т; экскаватор с объемом ковша 0,4 м³; каток двухвальцовый 20 т; стреловой кран.

Площадь выполняемой временной дороги составляет $100 \cdot 4,5 = 450 \text{ м}^2$.

Требуемое время на устройство данного способа – 2 смены по 8 ч, т.е. 16 ч.

Прямые затраты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Прямые затраты на строительство устройства временной дороги из дорожных плит

Table 3

Direct costs of the 2nd option of building a temporary road

№ п/п	Материал/техника	Ед. изм.	Объем	Цена за единица, руб.	Стоимость, руб.
1	Щебень фракции 40–70 мм	т	289,17	940	271 819,80
2	Дорожные плиты ПД 2–9,5	шт.	100	9187	918 700,00
3	Экскаватор	ч	4	1300	5 200,00
4	Каток	ч	4	2100	8 400,00
5	Кран	ч	8	1500	12 000,00
6	Зарплата рабочим (3 чел.)	ч	24	200	4 800,00
				Итого	1 220 919,8

3. Устройство временной дороги с применением каркасной сетки «Росомаха»

«Росомаха» – это инновационная тканая каркасная сетка из полиэфирной мононити, разработка Краснокамского завода металлических сеток (торговая марка ROSSET) [6]. В данном исследовании применяется каркасная сетка КС 16/1006-1. Ее основное назначение – сооружение временных дорог для обеспечения прохода тяжелого транспорта по грунтам с низкими физико-механическими характеристиками [7–9]. На рис. 3 показан общий вид сетки, на рис. 4 – профиль сетки.

Рис. 3. Общий вид сетки КС 16/1006-1

Fig. 3. General view of the wireframe KS 16/1006-1

Рис. 4. Профиль сетки КС 16/1004
Fig. 4. Profile of the wireframe KS 16/1004

Сетка представляет собой трехмерное синтетическое тканое полотно определенной пространственной конфигурации (профиля), состоящее из продольных нитей основы и поперечных нитей утка. Каркасная сетка соткана из синтетических монопоней. Благодаря особому типу плетения и прочности материала «Росомаха» равномерно распределяет статические и динамические нагрузки на полотно, препятствуя образованию колеи, обеспечивая проходимость любому виду транспорта. Сетка «Росомаха» запатентована в 2015 г. (патент на изобретение № 2567711) [10].

Сетка используется в качестве армирующей основы для композиционных материалов, временного дорожного раскатываемого покрытия для укладки его в местах трудной проходимости транспорта (например, на болотистом или песчаном грунте), а также как амортизирующее покрытие для защиты трубопроводов от ударных нагрузок.

Для устройства временных дорог данным способом необходимо выполнить конструкцию дорожной одежды согласно рис. 5.

Рис. 5. Схема устройства временной дороги с применением каркасной сетки «Росомаха»
Fig. 5. Scheme of the temporary road built according to the third option

Для реализации данного варианта строительства временной дороги необходимы следующие средства механизации: самосвал на автомобильном шасси 25 т; экскаватор с объемом ковша 0,4 м³; каток двухвальцовый 20 т.

Площадь выполняемой временной дороги составляет $100 \cdot 4,5 = 450 \text{ м}^2$.

Требуемое время на устройство данного способа – 0,8 смены по 8 ч, т.е. 7 ч. Прямые затраты приведены в табл. 4.

Таблица 4

Прямые затраты на строительство временной дороги с применением
каркасной сетки «Росомаха»

Table 4

Direct costs of the 3rd option of building a temporary road

№ п/п	Материал/техника	Ед. изм.	Объем	Цена за единицу, руб.	Стоимость, руб.
1	Геосетка «Росомаха»	м ²	450	1000	450 000,00
2	Щебень фракции 40–70 мм	т	144,585	770	111 330,45
3	Экскаватор	ч	1	1300	1 300,00
4	Каток	ч	3	2100	6 300,00
5	Зарплата рабочим (3 чел.)	ч	9	200	1 800,00
Итого					570 730,45

4. Анализ полученных результатов

Исходя из полученных результатов расчета прямых затрат и времени реализации вариантов устройства временных дорог, были построены графики (рис. 6, 7).

Рис. 6. Сравнение прямых затрат на строительство временной дороги
Fig. 6. Comparison of direct costs

Рис. 7. Сравнение временных затрат на строительство временной дороги
Fig. 7. Comparison of construction time

На основании анализа графиков можно сделать следующие выводы: самым экономически выгодным по прямым затратам является первый способ (534 615,30 руб.). Это связа-

но с применением недорогих местных материалов и простотой устройства. Однако этот вариант является самым долгим по временным затратам – 2,5 смены. Вторым по величине прямых затрат является третий способ (568 930,45 руб.). По стоимости он близок к первому, так как применяются местные материалы; в результате использования инновационной сетки «Росомаха» снизился расход невозобновляемых сыпучих материалов, а также уменьшился срок устройства временной дороги до 1 смены. Самым дорогим по прямым затратам оказался второй способ (1 216 119,80 руб.). Он на 227 % дороже первого из-за дороговизны железобетонных дорожных плит и продолжительного времени устройства (2 смены).

Для более подробного изучения способов устройства временных дорог был выполнен анализ повторного использования материалов. Основным показателем являлся процент повторного использования материалов (ППИМ). Для расчетов было принято, что процент повторного использования дорожных плит ПД 2-9,5 составляет 99 %, для каркасной сетки «Росомаха» согласно данным завода производителя – 95 % [10]. Для сыпучих материалов, таких как бутовый камень, щебень и т.д., ППИМ принимался равным 0% (табл. 5).

Таблица 5
Процент повторного использования материалов
Table 5
The percentage of secondary use

№ п/п	Материал	Процент повторного использования материалов, %
1	Бутовый камень фракции 100–300 мм	0
2	Щебень фракции 40–70 мм	0
3	Дорожные плиты ПД 2-9,5	99
4	Каркасная сетка «Росомаха»	95

Расчет был выполнен для условия повторного использования в течении 10 циклов строительства. По его результатам была составлена таблица накопительных прямых затрат (табл. 6).

Таблица 6
Накопительные прямые затраты
Table 6
Cumulative table of direct costs

Номер строительной площадки	Стоимость, руб.		
	1-й способ	2-й способ	3-й способ
1	534 615,30	1 220 919,80	570 730,45
2	1 069 230,60	1 532 326,60	714 460,90
3	1 603 845,90	1 852 920,40	879 191,35
4	2 138 461,20	2 182 701,20	1 061 921,80
5	2 673 076,50	2 521 669,00	1 259 652,25
6	3 207 691,80	2 869 823,80	1 464 382,70
7	3 742 307,10	3 227 165,60	1 672 113,15
8	4 276 922,40	3 593 694,40	1 880 843,60
9	4 811 537,70	3 951 036,20	2 088 574,05
10	5 346 153,00	4 317 565,00	2 275 304,50

На основании этих данных также был построен график (рис. 8).

Рис. 8. Накопительные прямые затраты
Fig. 8. Cumulative direct costs

Согласно рис. 8 при однократном устройстве временных дорог наиболее рациональными являются первый и третий способы. Данные варианты дешевле второго на 228,37 и 213,92 % соответственно.

При многократном устройстве временных дорог (более 10 за три года) наиболее целесообразным является применение армированной каркасной сетки «Росомаха». Экономический эффект, по сравнению с первым и вторым способами, составляет 237,95 и 189,76 % соответственно.

Исходя из вышесказанного, стоит отметить, что при разработке проекта на устройство временных дорог необходимо учитывать не только разовые прямые затраты, но и проводить анализ возможности повторного использования материалов. Кроме того, немаловажными являются такие параметры, как скорость устройства, необходимые складские площадки, количество средств механизации и т.д. Не стоит забывать и том, что самым эффективным является совмещение временных и постоянных дорог. В связи с этим первый способ строительства всегда нужно применять, когда есть возможность совместить временные и постоянные проезды и площадки, а в местах, где это невозможно, применять самый рациональный вариант — устройство временной дороги с применением каркасной сетки «Росомаха».

Заключение

Таким образом, к выбору варианта устройства временных дорог необходимо подходить не только с точки зрения первоначальных затрат, но и с точки зрения планирования времени. Необходимо также учитывать возможность совмещать временные дороги с постоянными проездами и площадками.

Согласно анализу прямых затрат для устройства одной временной дороги в течение трех лет лучшим является первый способ, поскольку прямые затраты минимальны, есть возможность частично либо полностью совместить временные дороги и постоянные.

Согласно анализу затрат при повторном использовании наиболее рациональным является устройство данных дорог из каркасной сетки «Росомаха». По сравнению с вариантом устройства временной дороги из дорожных плит ПД 2-9,5, в данном случае наблюдается ряд преимуществ:

– при выборе третьего способа временная дорога строится в 2,3 раза быстрее, чем с помощью второго варианта;

– стоимость устройства на 190–215 % дешевле, чем при реализации второго варианта;

– при втором способе необходимо предусматривать большие площадки под складирование плит, а каркасная сетка «Росомаха» занимает приблизительно в 25 раз меньше места.

Способ устройства временной дороги с использованием сетки «Росомаха» будет подробнее изучен нами в дальнейших исследованиях.

Библиографический список

1. Ведерников Д.Е., Татьянников Д.А. Обзор современных конструктивных методов улучшения основания // Новая наука: стратегии и векторы развития. – 2016. – № 5-2 (82). – С. 146–154.

2. Краев А.Н. Обоснование использования песчаной армированной подушки в слабых глинистых грунтах под ленточными фундаментами: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02. – Тюмень, 2014. – 140 с.

3. Раковская М.И. Численное моделирование контактного взаимодействия основания и плит покрытия временных автомобильных дорог: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18. – Петрозаводск, 2004. – 16 с.

4. Воронцов В.В. Вертикальное армирование деятельного слоя в основании дорожной конструкции: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02. – Тюмень, 2006. – 18 с.

5. Васильев А.С., Щегельман И.Р., Скрыпник В.И. Техно-экономическая оценка эффективности модернизированного песовозного автопоезда // Наука и бизнес: пути развития. – 2012. – Вып. 9 (15). – С. 71–73.

6. Информационный буклет ОАО «Краснокамский завод металлических сеток» [Электронный ресурс]. – URL: http://www.rosomaha.org/Rosomaha_Booklet.pdf (дата обращения: 20.12.2016).

7. Пonomarev A.B., Kleveko V.I., Tat'yannikov D.A. Анализ изменения прочностных характеристик геосинтетических материалов в процессе эксплуатации // Науч. вестник Воронеж. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2014. – № 3 (35). – С. 11–16.

8. Tatyannikov D.A., Ponomarev A.B., Kleveko V.I. Analysis of changes in strength characteristics of geosynthetics during its operation // Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. – 2015. – № 1 (25). – С. 7–14.

9. Клевекo В.И. Применение геосинтетических материалов в дорожном строительстве в условиях Пермского края // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 1. – С. 114–123.

10. Презентация сетки «Росомаха»: ОАО «Краснокамский завод металлических сеток» – торговая марка ROSSET [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rosomaha.org/preimushhestva/effektivnost.html> (дата обращения: 20.12.2016).

References

1. Vedernikov D.E., Tat'iannikov D.A. Obzor sovremennykh konstruktivnykh metodov uluchsheniia osnovaniia [Review of modern design methods to improve the base]. *Novaia nauka: strategii i vektory razvitiia*. 2016. № 5–2 (82). pp. 146–154.

2. Kraev A.N. Obosnovanie ispol'zovaniia peschanoi armirovannoi podushki v slabykh glinistyykh gruntakh pod lentochnymi fundamentami [The rationale for the use of reinforced sand cushion in soft clay soil under the tape foundation]. Dissertatsiia na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk (05.23.02). Tiumen', 2014, 140 p.

3. Rakovskaia M.I. Chislennoe modelirovanie kontaktnogo vzaimodeistviia osnovaniia i plit pokrytiia vremennykh, avtomobil'nykh dorog [Numerical simulation of contact interaction of Foundation and slabs cover temporary roads]. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk po spets. 05.13.18. Petrozavodsk, PetrGU, 2004, 16 p.

4. Vorontsov V.V. Vertikal'noe armirovanie deiatel'nogo sloia v osnovanii dorozhnoi konstruksii [Vertical reinforcement of the active layer in the road base design]. Avtoref. dis. na soisk. uch. step. kand. tekhn. nauk: (05.23.02), Tiumen, 2006, 18 p.

5. Vasil'ev A.S. et al. Tekhniko-ekonomicheskaiia otsenka effektivnosti modernizirovannogo lesovoznogo avtopoezda [Technic-economic evaluation of the effectiveness of the upgraded road trains]. *Nauka i biznes: puti razvitiia*. Vyp. 9 (15). 2012, pp. 71–73.

6. Informatsionnyi buklet OAO «Krasnokamskii zavod metallicheskh setok» – torgovaia marka ROSSET [Information booklet JSC «Krasnokamsk factory of metal grids» – ROSSET trade mark] (http://www.rosomaha.org/Rosomaha_Booklet.pdf).

7. Ponomarev A.B., Kleveko V.I., Tatiannikov D.A. Analiz izmeneniia prochnostnykh kharakteristik geosinteticheskikh materialov v protsesse ekspluatatsii [Analysis of changes in strength characteristics of geosynthetics in the course of operation]. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 3 (35), pp. 11–16.

8. Tatyannikov D.A., Ponomarev A.B., Kleveko V.I. Analysis of changes in strength characteristics of geosynthetics during its operation. *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*, 2015, no. 1 (25), pp. 7–14.

9. Kleveko V.I. Primenenie geosinteticheskikh materialov v dorozhnom stroitel'stve v usloviakh Permskogo kraia [The use of geosynthetics in road construction in the Perm region]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 1, pp. 114–123.

10. Prezentatsiia setki «Rosomakha» OAO «Krasnokamskii zavod metallicheskh setok» – torgovaia marka ROSSET [Presentation grid «Rosomakha», JSC «Krasnokamsk factory of metal grids» – ROSSET trade mark] (<http://www.rosomaha.org/preimushhestva/effektivnost.html>).