

and technology of construction» of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI) (644115, Omsk, 4th 2a Chelyuskintsev st., e-mail: dovanddms@yandex.ru).

Kuznetsov Sergey Mikhailovich (Russian Federation, Novosibirsk) – candidate of technical sciences,

associate professor of the department «Technology, organization and economy of construction» of the Siberian State Transport University (630049, Novosibirsk, 191 D. Kovalchuk st., e-mail: ksm56@yandex.ru).

УДК 625.731

РАСЧЕТ АРМИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ КАК МНОГОСЛОЙНОЙ ПЛИТЫ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

С.А. Матвеев, Е.А. Мартынов, Н.Н. Литвинов

ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. В статье предложена расчетная модель армированного щебеночно-песчаного основания дорожной одежды с переменным модулем упругости, изменяющимся по глубине слоя по экспоненциальной зависимости. Расчетная модель базируется на представлении армированного слоя зернистого материала как многослойной плиты, состоящей из произвольного количества жестко сцепленных между собой сплошных слоев. Предложена методика расчета армированных оснований дорожных одежд, опирающаяся на экспериментальные данные. Рассмотрен конкретный пример расчета.

Ключевые слова: плита, щебеночно-песчаное основание, армирование, георешетка, расчетная модель.

Введение

Для укрепления дорожных одежд широко используются различные виды геосинтетики в качестве армирующих материалов. В то же время необходимо признать, что достаточно обоснованной теоретически и апробированной на практике методики расчета дорожных одежд, армированных геосинтетическими материалами, не существует. Одна из первых разработок расчетных моделей дорожных одежд, армированных объемными и плоскими георешетками, представлена в монографии [1]. Основным показателем, обосновывающим применение армирующих материалов в дорожном строительстве, является эффект армирования. Эффект армирования – процент снижения какого-либо критического параметра армированной конструкции относительно неармированной. Для случая нежестких дорожных одежд классический расчет выделяет три таких параметра: упругий прогиб покрытия, сдвиговые деформации в подстилающем грунте и растягивающие напряжения в монолитных слоях при изгибе. Два первых относятся в большей степени к основанию дорожной одежды, третий – к покрытию. Остановимся подробнее на расчете дорожных одежд по критерию упругого прогиба.

Постановка задачи

Требуется оценить влияние параметров армирования основания дорожной одежды на изменение упругого прогиба покрытия. За эффект армирования по прогибу примем

процент уменьшения упругого прогиба армированной конструкции, относительно неармированной

$$C_w = \left(1 - \frac{w_2}{w_1}\right) \cdot 100\% \quad (1)$$

где w_1 – максимальный прогиб неармированной системы, w_2 – максимальный прогиб армированной системы.

Будем рассматривать два способа оценки эффекта армирования по упругому прогибу: первый – вычисление эффекта армирования по формуле (1), в которую подставляем значения прогибов, полученные экспериментально; второй – вычисление эффекта армирования также по формуле (1), но в которую подставляем значения прогибов, вычисленные теоретически по разработанной авторами методике, представленной ниже. В качестве основной гипотезы примем, что слой щебня, который фактически представляет собой дискретную среду [2], будет вести себя как сплошная связная среда при условии, что в основании слоя размещена армирующая георешетка, воспринимающая растягивающие напряжения и тем самым обеспечивающая работу слоя как плиты на упругом основании. В таком случае для расчета армированного слоя щебеночного основания может быть использована техническая теория изгиба плит [3-6]. Будем считать, что слой щебня представляет собой сплошную плиту при на-

личии армирующей прослойки. Геометрические размеры такого слоя позволяют отнести его к жестким пластинам [7,8]. При малых деформациях основные усилия в таких пластинах возникают от изгиба. При этом появляются как сжимающие, так и растягивающие напряжения в слое. Щебень как дискретный материал не способен воспринимать растягивающие напряжения. При введении арми-

рующей прослойки щебенки заанкериваются в ней, а сама прослойка воспринимает растягивающие напряжения.

Расчетная модель. Армированный слой щебня будем рассматривать как многослойную плиту, состоящую из произвольного количества жестко сцепленных между собой слоев, нижний из которых моделирует армирующую прослойку (рис. 1а).

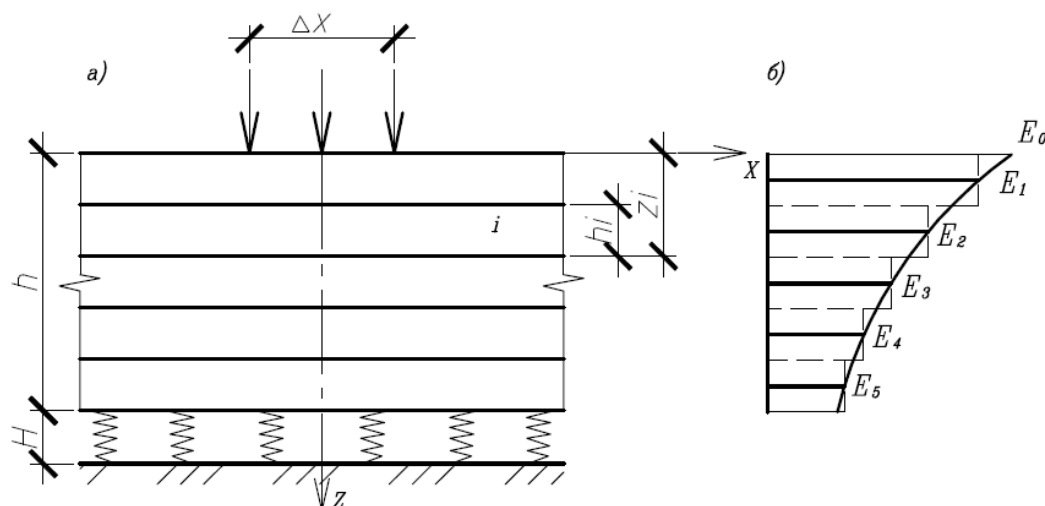


Рис. 1. Расчетная схема (а); распределение модулей упругости по слоям плиты (б)

Подстилающий слой песка работает как упругое основание [9,10]. Необходимо задать закон распределения модулей упругости слоев по глубине плиты. Выбор линейного закона распределения не позволит смоделировать выключение нижних слоев из работы с помощью одного аналитического выражения. Предположим, что модули упругости всех слоев многослойной плиты за исключением нижнего, моделирующего армирующую прослойку, будут изменяться с глубиной по экспоненциальной зависимости [11,12].

$$E(z) = E_0 \cdot \exp(-\gamma \cdot z). \quad (2)$$

где $E(z)$ – модуль упругости на глубине z от поверхности плиты; E_0 – модуль упругости на поверхности плиты (при $z=0$); γ – коэффициент затухания; z – расстояние от поверхности плиты до рассматриваемой точки.

Выделим в плите произвольное количество слоев. Будем полагать, что расчетные значения модулей упругости многослойной плиты по слоям будут изменяться по глубине кусочно-постоянно. При этом, в пределах отдельного i -го слоя модуль упругости по толщине не меняется и численно равен значе-

нию E_i , взятому на уровне срединной ординаты данного слоя (рис. 1 б):

$$E_i = E_0 \cdot \exp[-\gamma \cdot 0,5(z_i + z_{i-1})], \quad (3)$$

где E_i – модуль упругости i -го слоя; z_{i-1} – расстояние от поверхности плиты до поверхности i -го слоя; z_i – расстояние от поверхности плиты до подошвы i -го слоя.

Коэффициент затухания γ для всех слоев принимается одинаковым и определяется эмпирически из условия равенства теоретического и фактического прогибов системы. Экспоненциальный закон, при достаточной точности, позволяет наиболее простым способом аппроксимировать затухание упругих характеристик по глубине. Аналогичным образом данная модель может быть применена и для случая отсутствия армирующей прослойки. При этом из расчетной схемы многослойной плиты исключается нижний армирующий слой. Модуль упругости в этом случае затухает быстрее и общая цилиндрическая жесткость плиты за счет этого уменьшится. Кривые распределения модулей упругости по глубине плиты для разных коэффициентов затухания γ представлены на рисунке 2.

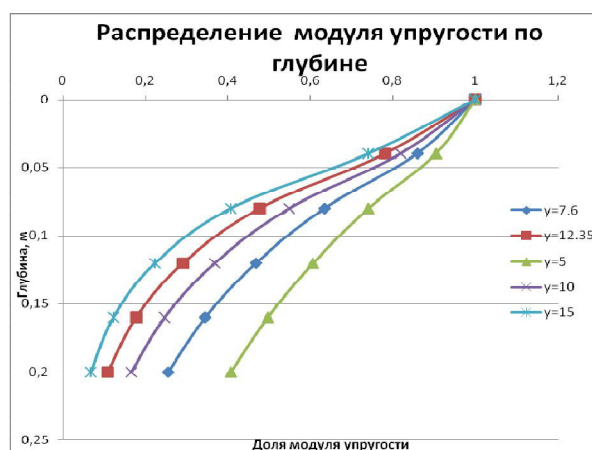


Рис. 2. График распределения модулей упругости по глубине

Примем, что при изгибе многослойной плиты для всего пакета составляющих ее слоев справедливы гипотезы Кирхгофа-Лява. В этом случае расчет плиты на упругом основании будем вести методом Бубнова-Галеркина по методике [12]. Расчетная схема плиты на упругом основании представляет собой многослойную плиту, нижний слой которой является армированным, лежащую на упругом основании. Размеры плиты в плане определяются размером чаши прогибов. На границах плиты в плане вертикальные прогибы должны отсутствовать.

Пример расчета. Рассмотрим в качестве примера армированную и неармированную конструкции, аналогичные по составу слоев: верхний – щебень фракции 40-70мм, нижний – песок средней крупности, загруженную равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью 530 кПа, приложенной на квадратной площадке размерами $\Delta X = \Delta Y = 0,33\text{м}$ (рис.3).

Второй вариант конструкции представляет собой аналогичную двухслойную систему, на границе раздела слоев которой уложен армирующий материал. В качестве армирующего материала используется георешетка со стальными волокнами в пластиковой оболочке типа РД по СТО 30478650-001-2012. Толщина щебеночного слоя $h = 0,2\text{м}$, песчаного – $H = 1\text{м}$. Модуль упругости песчаного слоя определен экспериментально и составил $E = 86\text{МПа}$. Коэффициенты Пуассона для щебня и песка равны 0,3. Размер плиты в плане $1,5 \times 1,5\text{м}$. По контуру плита принимается шарнирно опертой.

Сопоставим между собой армированную и неармированную конструкции. По результатам экспериментов [12] упругий прогиб для армированной конструкции составил $w_2 =$

0,86мм, для неармированной $w_1 = 1,46\text{мм}$. Просчитаем прогибы при разных значениях γ . Зададимся значением $\gamma = 7,6$. Выделим в плите пять слоев, каждый толщиной 0,04м, что в совокупности дает толщину плиты 0,2м. Расстояния от поверхности до подошвы слоя составят: $z_0=0$; $z_1=0.04\text{м}$; $z_2=0.08\text{м}$; $z_3=0.12\text{м}$; $z_4=0.16\text{м}$; $z_5=0.2\text{м}$. Модуль упругости плиты на поверхности примем $E_0=400\text{МПа}$. Тогда модули упругости слоев в соответствии с (3) составят $E_1 = 296\text{МПа}$, $E_2 = 162\text{МПа}$, $E_3 = 89\text{МПа}$, $E_4 = 49\text{МПа}$, $E_5 = 27\text{МПа}$.

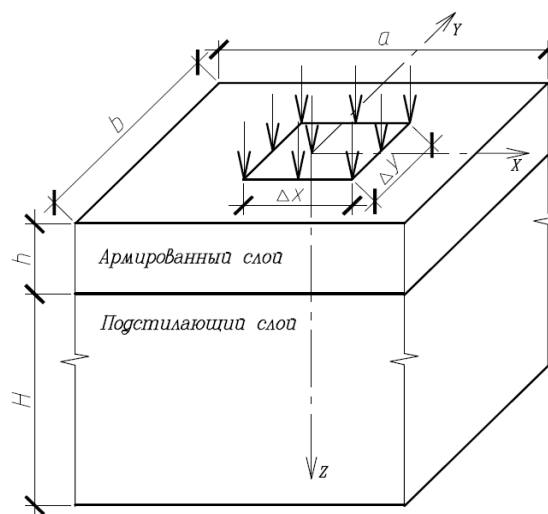


Рис. 3. Схема конструкции

Прогиб w_2 , вычисленный при значении коэффициента затухания $\gamma = 7,6$ составил 0,86мм, что точно соответствует значению прогиба, полученному экспериментально. Аналогичным образом устанавливаем, что при коэффициенте затухания $\gamma = 12,35$ вычисленный теоретически прогиб w_1 для неармированной конструкции соответствует значению w_1 , полученному экспериментально.

Выводы

Из графиков, представленных на рисунке 2, видно, что при экспоненциальном законе распределения модуля упругости слоя по глубине при больших значениях коэффициента γ , соответствующих неармированной конструкции, модули упругости нижней половины щебеночного слоя близки к нулю. Так, для значений коэффициента γ , соответствующих неармированной конструкции, модуль упругости нижнего слоя составляет лишь 11% от модуля упругости на поверхности. Тогда как у армированной конструкции этот показатель составляет 25%. Это косвенно подтверждает гипотезу о том, что в неармированных конструкциях рабочая толщина щебеночного слоя составляет примерно по-

ловину от отсыпанной, за счет выключения из работы растянутой части слоя. В армированных конструкциях толщина слоя используется более полно, за счет применения армирующего материала, воспринимающего растягивающие напряжения. Однако снижение модуля упругости по глубине слоя происходит достаточно быстро. Этот факт не позволяет отнести армированные щебеночные основания к типу жестких дорожных одежд.

Полученные значения эмпирических коэффициентов γ не являются абсолютно точными. При изменении количества слоев рассматриваемой конструкции их значения могут меняться. Но характер распределения модулей упругости по глубине многослойной плиты переменной жесткости остается постоянным и определяет прогибы на ее поверхности и напрямую влияет на эффект армирования.

Библиографический список

1. Матвеев, С.А. Армированные дорожные конструкции: моделирование и расчет / С.А. Матвеев, Ю.В. Немировский. – Новосибирск: Наука, 2006. – 348 с.
2. Клейн, Г.К. Строительная механика сыпучих тел / Г.К. Клейн. – М.: Стройиздат, 1977. – 256 с.
3. Матвеев, С.А. Решение плоской задачи для армированной многослойной дорожной одежды / С.А. Матвеев, Н.Н. Литвинов // Вестник СибАДИ. – 2012. – № 1 (23). – С. 44-46.
4. Болотин, В.В. Механика многослойных конструкций / В.В. Болотин, Ю.Н. Новичков. – М.: Машиностроение, 1980. – 375 с.
5. Киселев, В.А. Расчет пластин / В.А. Киселев. – М.: Стройиздат, 1973. – 151 с.
6. Амбарцумян, С.А. Теория анизотропных пластин / С.А. Амбарцумян. – М.: Наука, 1987. – 360 с.
7. Александров, А.В. Основы теории упругости и пластичности / А.В. Александров, В.Д. Потапов. – М.: Высш. шк., 1990 – 400 с.
8. Самуль, В.И. Основы теории упругости и пластичности / В.И. Самуль. – М.: Высш. шк., 1982 – 264с.
9. Коренев, Б.Г. Расчет плит на упругом основании / Б.Г. Коренев, Е.И. Черниговская. – М.: Госстройиздат, 1962. – 356 с.
10. Симвулиди, И.А. Расчет инженерных конструкций на упругом основании / И.А. Симвулиди. – М.: Высш. шк., 1972 – 431 с.
11. Пискунов, В.Г. Расчет неоднородных плоских оболочек и пластин методом конечных элементов / В.Г. Пискунов. – К.: Вища школа, 1987. – 200с.
12. Матвеев, С.А. Экспериментально-теоретические исследования армированного основания дорожной одежды / С.А. Матвеев, Е.А. Мартынов, Н.Н. Литвинов // Вестник СибАДИ. – 2015. – № 4 (44). – С. 80-86.

CALCULATION OF THE REINFORCED DESIGN OF ROAD CLOTHES AS MULTILAYERED PLATE ON THE ELASTIC BASIS

S.A. Matveev, E.A. Martynov, N. N. Litvinov

Abstract. In article the settlement model of the reinforced crushed-stone-sand basis of road clothes with the variable module of elasticity changing on layer depth on exponential dependence is offered. The settlement model is based on representation of the reinforced layer of granular material as the multilayered plate consisting of any quantity of the continuous layers which are rigidly linked among themselves. The method of calculation of the reinforced bases of road clothes leaning on experimental data is offered. A concrete example of calculation is reviewed.

Keywords: plate, crushed-stone-sand basis, reinforcing, geolattice, settlement model.

References

1. Matveev S.A., Nemirovskij Ju.V. *Armirovannye dorozhnye konstrukcii: modelirovanie i raschet* [The reinforced road designs: modeling and calculation]. Novosibirsk: Nauka, 2006. 348 p.
2. Klejn G.K. *Stroitel'naja mehanika syvuchih tel* [Construction mechanics of loose bodies]. Moscow, Strojizdat, 1977. 256 p.
3. Matveev S.A., Litvinov N.N. Reshenie ploskoj zadachi dlja armirovannoj mnogoslojnoj dorozhnoj odezhdy [The solution of a flat task for the reinforced multilayered road clothes]. *Vestnik SibADI*, 2012, no 1 (23). pp. 44-46.
4. Bolotin V.V., Novichkov Ju.N. *Mekhanika mnogoslojnyh konstrukcij* [Mechanik of multilayered designs]. Moscow, Mashinostroenie, 1980. 375 p.
5. Kiselev V.A. *Raschet plastin* [Calculation of plates]. Moscow, Strojizdat, 1973. 151 p.
6. Ambarcumjan S.A. *Teorija anizotropnyh plastin* [Theory of anisotropic plates]. Moscow, Nauka, 1987. 360 p.
7. Aleksandrov A.V., Potapov V.D. *Osnovy teorii uprugosti i plastichnosti* [Bases of the theory of elasticity and plasticity]. Moscow, Vyssh. shk., 1990 400 p.
8. Samul' V.I. *Osnovy teorii uprugosti i plastichnosti* [Bases of the theory of elasticity and plasticity]. Moscow, Vyssh. shk., 1982. 264 p.
9. Korenev B.G., Chernigovskaja E.I. *Raschet plit na uprugom osno-vanii* [Calculation of plates on the elastic basis]. Moscow, Gosstrojizdat, 1962. 356 p.
10. Simvulidi I.A. *Raschet inzhenernyh konstrukcij na uprugom osnovanii* [Calculation of engineering designs on the elastic basis]. Moscow, Vyssh. shk., 1972. 431 p.
11. Piskunov V.G. *Raschet neodnorodnyh pologih obolochek i plastin metodom konechnykh jelementov* [Calculation of non-uniform flat covers and plates by method of final elements]. Kiev, Vishha shkola, 1987. 200 p.
12. Matveev S.A., Martynov E.A., Litvinov N.N. *Jeksperimental'no-teoreticheskie issledovanija armirovannogo osnovanija dorozhnoj odezhdy* [xperimental and theoretical researches of the reinforced basis of road clothes]. *Vestnik SibADI*, 2015, no 4 (44). pp. 80-86.

Матвеев Сергей Александрович (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Строительная механика и геотехнологии», ФГБОУ ВПО «СибАДИ». (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: dfsibadi@mail.ru).

Мартынов Евгений Анатольевич (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Строительная механика и геотехнологии» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: asp-evg@mail.ru).

Литвинов Николай Николаевич (Россия, г. Омск) – старший преподаватель кафедры «Строительная механика и геотехнологии» ФГБОУ ВПО «СибАДИ». (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: niklitvinov_23i@mail.ru).

Matveev Sergey Aleksandrovich (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, profes-

sor of the department «Construction mechanics and geotechnologies», The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: dfsibadi@mail.ru).

Martynov Evgeny Anatolyevich (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, the associate professor of the department "Construction mechanics and geotechnologies", The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: asp-evg@mail.ru).

Litvinov Nikolay Nikolaevich (Russian Federation, Omsk) – the senior teacher of the department «Construction mechanics and geotechnologies», The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: niklitvinov_23i@mail.ru).

УДК 625.71.8

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ОТРЯДА ДОРОЖНЫХ МАШИН ДЛЯ ЗИМНЕГО СОДЕРЖАНИЯ ГОРОДСКИХ УЛИЦ И ДОРОГ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ НА РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

И.В. Слепцов

ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. Приведены уравнения регрессии скорости автомобильного потока от рабочей скорости отряда дорожных машин и часовой интенсивности движения в зоне производства работ на магистральных улицах города. Рабочую скорость отрядов дорожных машин предложено принимать не менее средней скорости движения транспортного потока с учетом состояния поверхности покрытия, интенсивности и состава движения. Представлена последовательность расчета оптимального состава отряда дорожных машин для дорожно-эксплуатационной организации, содержащей городскую улично-дорожную сеть.

Ключевые слова: отряд дорожных машин, зимнее содержание, транспортный поток.

Введение

В процессе производства работ по зимнему содержанию городских улиц и дорог (ГУДС) дорожные машины вносят в транспортный поток ряд существенных помех большими габаритами и низкой рабочей скоростью: повышается плотность, снижается скорость движения транспортного потока, возникают заторы.

При разработке вопросов механизации зимнего содержания не учитывается влияние параметров как отдельных, так и отрядов дорожных машин на режимы движения автомобильного потока в зоне проведения работ. Это объясняется тем, что существующие организационно-технологические решения зимнего содержания ГУДС [1] сформированы на концептуальных подходах 80-х годов прошлого столетия, когда в большинстве городов

движение транспортных средств осуществлялось в условиях свободного потока.

В работе [2] автором предложена имитационная модель обгона дорожной техники легковыми автомобилями в условиях пониженных сцепных качеств покрытия и ограниченной видимости при зимнем содержании внегородских дорог. Автор [2] приходит к выводу, что при патрульной снегоочистке снижение пропускной способности достигает 32 %, а при обработке дорог противогололедными материалами – 2...4 %.

Однако такие результаты не применимы к городским улицам. Это объясняется следующими факторами: плотность движения на улично-дорожной сети значительно выше, чем на внегородских дорогах; разрешенные скорости для транспортных средств составляют 60 и 90 соответственно. В работе [2] не