



Научная статья

УДК 624.164.3

DOI: 10.37482/0536-1036-2023-3-113-125

Использование армогрунта в конструкции устоев деревянного моста лесовозной автомобильной дороги

А.М. Бургонутдинов¹, д-р техн. наук, доц.; Researcher ID: [HIZ-9787-2022](#),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1028-4129>

О.Н. Бурмистрова², д-р техн. наук, проф.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2616-7557>

В.И. Клевекко¹, канд. техн. наук, доц.; Researcher ID: [G-8404-2016](#),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7251-9598>

Ю.К. Лицингер¹, аспирант; Researcher ID: [HI-5947-2022](#),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6534-4395>

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский просп., д. 29, г. Пермь, Россия, 614990; burgonutdinov.albert@yandex.ru, vlivkl@mail.ru[✉], julia_litz@mail.ru

²Ухтинский государственный технический университет, ул. Первомайская, д. 13, г. Ухта, Республика Коми, Россия, 169300; olga.burm@mail.ru

Поступила в редакцию 27.01.22 / Одобрена после рецензирования 23.04.22 / Принята к печати 26.04.22

Аннотация. Деревянные мосты традиционно довольно широко используются на лесовозных дорогах, несмотря на целый ряд недостатков, в основном связанных с невысокими долговечностью и огнестойкостью. Главным преимуществом деревянных мостов для лесовозных дорог является применение при строительстве и ремонте местных конструктивных материалов, что обуславливает низкую стоимость объекта. Однако традиционные конструкции устоев деревянных мостов требуют большого объема конструктивных дренажных грунтов для отсыпки конусов, каменных материалов или железобетонных плит для укрепления конусов в целях защиты от размывов. Кроме того, для слабых грунтов используются свайные опоры, для сооружения которых необходима тяжелая строительная техника. Этих недостатков лишены армогрунтовые устои. Использование новых конструкций береговых опор позволит снизить стоимость строительства и повысить надежность работы конструкций. Цель работы – оценить возможность применения армогрунта в конструкции устоев деревянных мостов. Приведены результаты расчета устоя с использованием армированного грунта. Выполнены расчеты на нормативные нагрузки А11, Н11, а также лесовозного автопоезда. Для нахождения параметров лесовозного автопоезда осуществлены дополнительные исследования, позволившие определить марку автопоезда, оказывающего максимальную нагрузку на устой. Установлено, что максимальное усилие на устой оказывает нагрузка Н11, а минимальное – А11. Усилие от лесовозного автопоезда на базе автомобиля Iveco-AMT 633920 (6×6) значительно превышает воздействие от нормативной нагрузки А11, но немного меньше, чем усилие от нормативной нагрузки Н11. Расчеты устоя выполнены

© Бургонутдинов А.М., Бурмистрова О.Н., Клевекко В.И., Лицингер Ю.К., 2023

Статья опубликована в открытом доступе и распространяется на условиях лицензии CC BY 4.0

методом конечных элементов с помощью программы Plaxis 2D по 2 группам предельных состояний и включали в себя определение внешней и внутренней устойчивости армогрунтового устоя, а также вертикальных и горизонтальных перемещений. При расчете внешней устойчивости получены коэффициенты устойчивости для 1-й схемы загрузки – 2,14, для 2-й – 1,44, что больше предельно допустимого значения – 1,375. В целом расчеты показали, что армогрунтовой устой по всем показателям соответствует требованиям нормативных документов.

Ключевые слова: армированный грунт, метод конечных элементов, мостовой устой, геосинтетические материалы, лесовозная дорога, деревянное мостостроение

Для цитирования: Бургонутдинов А.М., Бурмистрова О.Н., Клевко В.И., Лицингер Ю.К. Использование армогрунта в конструкции устоев деревянного моста лесовозной автомобильной дороги // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 3. С. 113–125. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-3-113-125>

Original article

Application of Reinforced Soil Foundations in the Construction of Wooden Bridge Abutments Along Logging Road

Albert M. Burgonutdinov¹, Doctor of Engineering, Assoc. Prof.;

Researcher ID: [HIZ-9787-2022](https://orcid.org/0000-0002-1028-4129), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1028-4129>

Olga N. Burmistrova², Doctor of Engineering, Prof.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2616-7557>

Vladimir I. Kleveko¹, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.;

Researcher ID: [G-8404-2016](https://orcid.org/0000-0001-7251-9598), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7251-9598>

Yulia K. Litsinger¹, Postgraduate Student; Researcher ID: [HII-5947-2022](https://orcid.org/0000-0002-6534-4395),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6534-4395>

¹Perm National Research Polytechnic University, prosp. Komsomolsky, 29, Perm, 614990, Russian Federation; burgonutdinov.albert@yandex.ru, vlivkl@mail.ru, julia_litz@mail.ru

²Ukhta State Technical University, ul. Pervomaiskaya, 13, Ukhta, Komi Republic, 169300, Russian Federation; olga.burm@mail.ru

Received on January 27, 2022 / Approved after reviewing on April 23, 2022 / Accepted on April 26, 2022

Abstract. Wooden bridges have been used quite frequently on logging roads, regardless of their low durability and weak fire resistance. The preference is determined by the application of local materials in the construction and reparation, thus reducing the cost of the structure. However, the standard construction of the wooden bridge demands large amounts of conditioned draining bulk materials to support the cones, stone materials, or reinforced concrete slabs to protect against soil erosion. Besides, pile foundations are used on soft ground, involving heavy construction machinery. Reinforced soil foundations don't have disadvantages of this kind. The application of innovative mounds for coastal support may reduce construction costs and increase operational capability. The purpose of the study is to estimate the potential of reinforced soil foundations in the construction of wooden bridge abutments. The results of the calculation for an abutment using reinforced support are presented. The calculations were performed for the standard loads A11, N11, and a forwarder. Additional research was performed to determine the parameters for the forwarder. According to the results, a mark of the forwarder with the maximum load on the abutment was identified. The maximum applied



force was exerted by the load H11, and the minimum was A11. The stress from the timber truck Iveco-AMT 633920 (6×6) significantly exceeded the characteristic load A11, yet it was slightly lower compared to H11. The calculations for the abutment were done using the finite element method of the Plaxis 2D software. The parameters were limited to two groups of states. The calculations contained the external and internal stability factors along with the vertical and horizontal displacements of the reinforced structure. The external stability coefficient for the first loading scheme was 2.14; for the second loading scheme, it was 1.44. They exceed the permitted limit that is 1.375. In general, the results demonstrated that the reinforced soil abutment totally meets the requirements of the regulatory documents.

Keywords: reinforced soil, finite element method, bridge abutment, geosynthetics, logging road, wooden bridge construction

For citation: Burgonutdinov A.M., Burmistrova O.N., Kleveko V.I., Litsinger Yu.K. Application of Reinforced Soil Foundations in the Construction of Wooden Bridge Abutments Along Logging Road. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2023, no. 3, pp. 113–125. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-3-113-125>

Введение

На территории нашей страны находится около четверти лесов мира. Большие запасы древесины использовались и будут широко использоваться в будущем для всех видов строительства, в том числе для постройки мостов на лесовозных дорогах Европейского Севера, Урала, Сибири и Дальнего Востока. Древесина как строительный материал имеет целый ряд преимуществ по сравнению с другими материалами – возобновляемость запасов, малая плотность, сравнительно высокие прочность и жесткость, легкая обрабатываемость и низкая стоимость [2, 3, 10–13]. Деревянные мосты разрешается применять на автомобильных дорогах общей сети IV и V категорий, на улицах и дорогах местного значения. На лесных магистралях возводят постоянные многопролетные деревянные мосты, на лесовозных ветках – постоянные и временные деревянные мосты. Общее количество деревянных мостов в России сравнительно невелико и составляет менее 1 % от общего количества мостов. Однако в некоторых регионах, таких как Архангельская область, Сибирь, их количество значительно больше – примерно 10–15 % [11].

Одним из основных требований к мостам на лесных дорогах, особенно временным, является снижение их стоимости. Этого можно достигнуть внедрением новых конструкций и материалов, например армированного грунта [5–9], что актуально для лесовозных дорог.

Армированный грунт представляет собой комбинацию из грунта и армирующих прослоек и работает примерно так же, как железобетон. Грунт обладает относительно высокой прочностью на сжатие, однако имеет низкую прочность на растяжение. Армирующие прослойки, в свою очередь, имеют высокую прочность на растяжение и отлично компенсируют недостатки грунта. Армирующие прослойки чаще всего выполняются в виде геосеток или геотканей. При уплотнении грунта засыпки его часть проникает сквозь отверстия армирующего материала, обеспечивая их надежное сцепление между собой. Так образуется условно монолитный армогрунтовый массив, способный воспринимать как горизонтальные, так и вертикальные нагрузки, что немаловажно при строительстве подпорных конструкций, в том числе мостовых устоев. Еще один плюс та-

кой конструкции – отличный дренаж, за счет чего влага не скапливается внутри конструкции устоя, что значительно увеличивает его срок службы. Таким образом, применение армогрунтовых подпорных стенок и устоев мостов позволяет создавать сравнительно дешевые и долговечные конструкции [9].

В настоящее время армогрунтовые устои широко используются в строительной практике [14–20], но преимущественно для железобетонных и металлических мостов. Цель работы – оценка возможности применения армогрунтовых устоев для деревянных мостов лесовозных дорог.

Объекты и методы исследования

Для проверки возможности использования армогрунта в береговых опорах была разработана конструкция устоя для однопролетного деревянного моста. Его общий вид приведен на рис. 1. Конструкция создана для типового проекта серии 3.503-36 «Деревянные мосты и трубы на автомобильных дорогах лесозаготовительных предприятий под утяжеленные автопоезда», Ленинград, 1975 г. Длина пролета – 6,0 м, расчетная длина пролета – 5,5 м, высота подходной насыпи – 4,0 м, габарит моста – Г-4,5. Типовая свайная опора была заменена на армогрунтовую с легкой деревянной облицовкой.

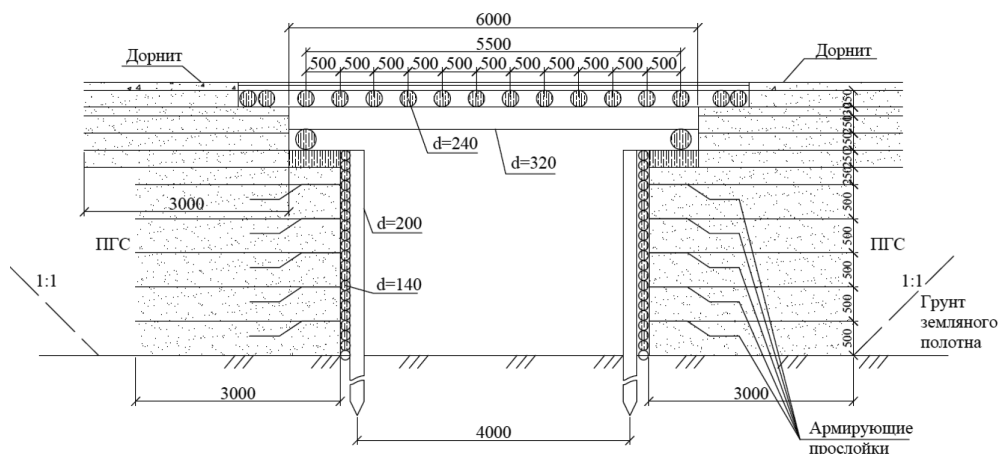


Рис. 1. Конструкция моста с армогрунтовыми устоями (ПГС – песчано-гравийная смесь; d – диаметр)

Fig. 1. Bridge construction with reinforced soil abutments (ПГС – sand and gravel mixture; d – diameter)

Инженерно-геологические условия и физико-механические характеристики грунтов и обратной засыпки армогрунтового устоя приняты по данным работы [5]. Материал засыпки – песок (объемный вес $\gamma = 17,7$ кН/м³, угол внутреннего трения $\phi = 35^\circ$, модуль общей деформации $E = 30$ МПа). Грунт земляного полотна – суглинок ($\gamma = 19,9$ кН/м³, $\phi = 21^\circ$, удельное сцепление $c = 23$ кПа, $E = 26$ МПа). Основание – суглинок ($\gamma = 19,9$ кН/м³, $\phi = 21^\circ$, $c = 23$ кПа, $E = 26$ МПа) толщиной 1,2 м и гравийный грунт ($\gamma = 19,9$ кН/м³, $\phi = 40^\circ$, $E = 45$ МПа).

Согласно СП 288.1325800.2016 «Дороги лесные. Правила проектирования и строительства» конструкция моста на лесной автомобильной дороге

разрабатывается по СП 35.13330–2011 «Мосты и трубы». В соответствии с этим документом деревянные мосты рассчитываются на нагрузки А11 и Н11. Однако пункт 6.6.12 СП 288.1325800.2016 предписывает в случае необходимости применять конкретные нагрузки, если их параметры превышают нагрузки типа АК и НК. Кроме того, 26.05.2022 подписано соглашение между правительством Пермского края и Ассоциацией «Лесопромышленники Прикамья», предусматривающее повышение допустимой массы транспортных средств, осуществляющих перевозку лесоматериалов, для 5-осных автопоездов до 44 тс, а для 6-осных и более автопоездов – до 55 тс. Поэтому нами были выполнены расчеты на нагрузки от конкретных автопоездов. Для определения характеристик транспортных средств, используемых при вывозке по путям первичного транспорта леса, взяты данные исследования [1]. В этом исследовании рекомендуются следующие марки и компоновочные решения автопоездов при плохом состоянии лесовозных автодорог: Iveco-AMT 633920 (6×6) + САВ 83433RC4-0000011-И, МАЗ 6317F9-565-000 (6×6) + МАЗ-837810-020, Урал 4320-82 (6×6) + НефАЗ-8332-09, Iveco-AMT 633920 (6×6) + САВ 83434-0000010-02, КамАЗ 6560 (8×8) + САВ 83433RC4-0000011-И, Volvo FMX (6×6) + САВ 83433RC4-0000011-И, Scania G 480 CB6X6EHZ (6×6) + САВ 83433RC4-0000011-И. Осевые нагрузки от лесовозных автопоездов и расстояния между осями приведены в табл. 1.

Таблица 1

Весовые и геометрические характеристики лесовозных автопоездов**Weight and geometric characteristics of the forwarders**

Марка автомобиля и прицепа	Нагрузка на ось, кН		Расстояние между осями, м		Общая масса автопоезда, кН
	автомобиля	прицепа	автомобиля	прицепа	
Iveco-AMT 633920 (6×6) + САВ 83433RC4-0000011-И	98,0+ +2×156,8	117,6+ +2×117,6	4,70+1,39	4,06+1,40	764,4
МАЗ 6317F9-565-000 (6×6) + МАЗ-837810-020	71,5+ +2×101,4	98,0+98,0	4,48+1,40	5,385	470,3
Урал 4320-82 (6×6) + НефАЗ-8332-09	60,0+ +2×76,8	107,8+ +107,8	4,83+1,40	6,50	429,2
Iveco-AMT 633920 (6×6) + САВ 83434-0000010-02	98,0+ +2×156,8	2×117,6+ +2×117,6	4,70+1,39	1,36+4,06+ +1,36	872,2
КамАЗ 6560 (8×8) + САВ 83433RC4-0000011-И	70,6+70,6+ +2×127,4	117,6+ +2×117,6	2,06+3,64+ +1,44	4,06+1,40	748,7
Volvo FMX (6×6) + САВ 83433RC4-0000011-И	98,0+ +2×127,4	117,6+ +2×117,6	3,70+1,40	4,06+1,40	705,6
Scania G 480 CB6X6EHZ (6×6) + САВ 83433RC4-0000011-И	83,3+ +2×127,4	117,6+ +2×117,6	4,50+1,35	4,06+1,40	690,9

Анализ результатов, приведенных в табл. 1, показал, что максимальное значение осевой нагрузки имеет автомобиль Iveco-AMT 633920 (6×6). Для мостов малых пролетов расстояние между осями практически не влияет на общее усилие на опору моста, так как на пролете помещается только задняя тележка. Поэтому для дальнейших расчетов был выбран автомобиль Iveco-AMT 633920 (6×6).

От пролетного строения моста на устой передаются постоянные нагрузки от веса пролетного строения и временные нагрузки от автомобильных нагрузок. При дальнейших расчетах использовано максимальное значение усилия.

Постоянная нагрузка от веса пролетного строения определена по типовому проекту серии 3.503-36 «Деревянные мосты и трубы на автомобильных дорогах лесозаготовительных предприятий под утяжеленные автопоезда», выпуск 2. Для пролета длиной 6,0 м и габаритом Г-4,5 объем необходимой древесины составляет 20,5 м³.

Временные нагрузки на пролетное строение были приняты по СП 35.13330–2011 «Мосты и трубы»: А11 и Н11. Кроме того, выполнены расчеты для тяжелых лесовозных автопоездов Iveco-АМТ 633920 (6×6) + САВ 83434-0000010-02. Расчетные схемы загрузки пролетного строения временной нагрузкой представлены на рис. 2.

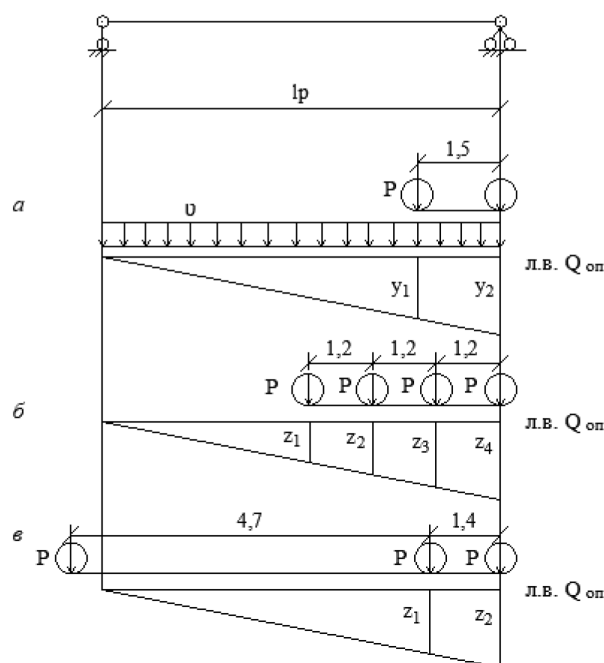


Рис. 2. Расчетные схемы загрузки пролетного строения: *a* – нагрузка А11; *б* – нагрузка Н11; *в* – лесовозный автопоезд (л.в. $Q_{оп}$ – линия влияния поперечной силы на опоре)

Fig. 2. Computational load schemes for the bridge framework: *a* – the load А11; *б* – the load Н11; *в* – the a forwarder (л.в. $Q_{оп}$ – the line of transverse force influence on the bridge support)

Нормативная вертикальная нагрузка, кН, на устой моста от собственного веса пролетного строения может быть определена по формуле

$$S_{св}^H = q_n \Omega_{лв},$$

где q_n – нормативная нагрузка от собственного веса конструкций пролетного строения, кН/м; $\Omega_{лв}$ – полная площадь участков линии влияния;

$$q_n = V \gamma / l_p,$$

V – общий объем древесины, требующейся на пролетное строение, $V = 20,5$ м³; γ – объемный вес древесины, $\gamma = 6,9$ кН/м³; l_p – расчетная длина пролета, $l_p = 5,5$ м;

$$q_n = 20,5 \cdot 6,9 / 5,5 = 25,7;$$

$$S_{св}^H = 25,7 \cdot 2,75 = 70,68.$$

Расчетная вертикальная нагрузка на устой моста от собственного веса пролетного строения:

$$S_{\text{св}}^{\text{р}} = \gamma_{\text{fq}} S_{\text{св}}^{\text{н}}$$

где γ_{fq} – коэффициент надежности для постоянной нагрузки, $\gamma_{\text{fq}} = 1,2$ (табл. 6.4, СП 35.13330–2011);

$$S_{\text{св}}^{\text{р}} = 1,2 \cdot 70,68 = 84,81.$$

Нормативное вертикальное усилие, кН, на устой моста от нагрузки А11:

$$S_{\text{А11}}^{\text{н}} = v \Omega_{\text{лв}} + P (y_1 + y_2),$$

где v – равномерно распределенная часть нагрузки А11, $v = 11$ кН/м; P – осевая нагрузка от 2-осной тележки нагрузки А11, $P = 110$ кН; $y_1 + y_2$ – ординаты линии влияния, расположенные под осями тележки (рис. 2, а);

$$S_{\text{А11}}^{\text{н}} = 11 \cdot 2,75 + 110 (0,73 + 1,0) = 220,55.$$

Расчетная вертикальная нагрузка, кН, на устой моста от нагрузки А11:

$$S_{\text{А11}}^{\text{р}} = v (1 + \mu) \gamma_{\text{fv}} \Omega_{\text{лв}} + P (1 + \mu) \gamma_{\text{fp}} (y_1 + y_2),$$

где $1 + \mu$ – динамический коэффициент, для равномерно распределенной нагрузки $(1 + \mu) = 1,0$ (п. 6.22 СП 35.13330–2011), для нагрузки от 2-осной тележки $(1 + \mu) = 1,3$ (п. 6.22 СП 35.13330–2011); γ_{fv} – коэффициент надежности для равномерно распределенной части нагрузки А11, $\gamma_{\text{fv}} = 1,25$ (табл. 6.10, СП 35.13330–2011); γ_{fp} – коэффициент надежности для 2-осной тележки нагрузки А11, $\gamma_{\text{fp}} = 1,5$ (табл. 6.10, СП 35.13330–2011);

$$S_{\text{А11}}^{\text{р}} = 11 \cdot 1,0 \cdot 1,25 \cdot 2,75 + 110 \cdot 1,3 \cdot 1,5 (0,73 + 1,0) = 408,90.$$

Нормативная вертикальная нагрузка, кН, на устой моста от нагрузки Н11:

$$S_{\text{Н11}}^{\text{н}} = P (z_1 + z_2 + z_3 + z_4),$$

где P – осевая нагрузка от 4-осной тележки нагрузки Н11, $P = 196$ кН; $z_1 + z_2 + z_3 + z_4$ – ординаты линии влияния, расположенные под осями тележки (рис. 2, б);

$$S_{\text{Н11}}^{\text{н}} = 196 (0,35 + 0,56 + 0,78 + 1,0) = 527,24.$$

Расчетная вертикальная нагрузка, кН, на устой моста от нагрузки Н11:

$$S_{\text{Н11}}^{\text{р}} = \gamma_{\text{fp}} S_{\text{Н11}}^{\text{н}},$$

где γ_{fp} – коэффициент надежности для тележки нагрузки Н11, $\gamma_{\text{fp}} = 1,1$ (табл. 6.10, СП 35.13330–2011);

$$S_{\text{Н11}}^{\text{р}} = 1,1 \cdot 527,24 = 579,96.$$

Нормативная вертикальная нагрузка, кН, от лесовозных автопоездов на устой моста:

$$S_{\text{т}}^{\text{н}} = P (z_1 + z_2),$$

где P – осевая нагрузка от 2-осной тележки автомобиля Iveco-АМТ 633920, $P = 156,8$ кН; $z_1 + z_2$ – ординаты линии влияния, расположенные под осями тележки (рис. 2, в);

$$S_{\text{т}}^{\text{н}} = 156,8 (0,75 + 1,0) = 274,4.$$

Расчетная вертикальная нагрузка, кН, от лесовозных автопоездов на устой моста:

$$S_{\text{т}}^{\text{р}} = P (1 + \mu) \gamma_{\text{fp}} (z_1 + z_2),$$

где γ_{fp} – коэффициенты надежности для 2-осной тележки, $\gamma_{\text{fp}} = 1,5$; $1 + \mu = 1,3$;

$$S_{\text{т}}^{\text{р}} = 156,8 \cdot 1,3 \cdot 1,5 (0,75 + 1,0) = 535,08.$$

Итоговые значения нагрузок на устой моста от пролетного строения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Нагрузки, кН, на устой от пролетного строения
Loads, kN, on the abutment from the framework

Нагрузка	Нагрузка		Суммарная нагрузка	
	нормативная	расчетная	нормативная	расчетная
Собственный вес пролета	70,68	84,81	–	–
A11	220,55	408,90	291,23	493,71
H11	527,24	579,96	597,92	664,77
Лесовоз Iveco-AMT 633920	274,40	535,08	345,08	619,89

Максимальную вертикальную нагрузку на устой моста имеет нагрузка H11, поэтому дальнейшие расчеты проведены для этой нагрузки.

К армирующим материалам, используемым в конструкциях устоев мостов, предъявляются особые требования по прочности на растяжение и деформативности. В настоящее время выпускается большое количество геотекстилей, удовлетворяющих этим требованиям: «Геоспан ТН», «Стабитекс», «Стабиленка», «Геолон РЕТ», «Армистаб», «Стабигрунт» и других марок.

В данной работе в качестве армирующего материала при расчетах выбран тканый геотекстиль «Геоспан ТН-80» производства предприятия ГК «Гекса», обладающий следующими физико-механическими характеристиками: поверхностная плотность – 410 г/м²; прочность при растяжении по длине и ширине – 80 кН/м; относительное удлинение при максимальной нагрузке по длине и ширине – не более 20 %.

Результаты исследования и их обсуждение

Для расчетов армогрунтовых устоев можно использовать аналитические и численные методы. Аналитический метод предполагает выполнение расчетов в 2 этапа. Сначала выполняется расчет на общую устойчивость армогрунтовой удерживающей конструкции, а затем на внутреннюю устойчивость [7]. Аналитические расчеты предполагают большой объем вычислений с использованием итерационных процедур и имеют высокую трудоемкость, хотя существуют компьютерные программы, упрощающие эту работу [4]. Численные методы расчета менее трудоемки и позволяют точнее моделировать реальную конструкцию сооружения. Сравнение аналитических и численных методов расчета для армогрунтовых подпорных конструкций выявило хорошую сходимость результатов [6]. Поэтому расчет армогрунтового устоя был выполнен численным методом при помощи сертифицированного программного комплекса Plaxis 2D, в котором реализован метод конечных элементов. Plaxis 2D широко применяется для геотехнических расчетов.

При проектировании устоя моста выполнены следующие расчеты:

1. по 1-й группе предельных состояний:
 - расчеты на потерю общей (внешней) устойчивости сооружения (коэффициента устойчивости);
 - расчеты на внутреннюю устойчивость армогрунтовой конструкции (растягивающих усилий в армирующих элементах);
2. по 2-й группе предельных состояний – расчет вертикальных и горизонтальных деформаций.

Расчеты были выполнены для 2 случаев загрузки устоя временной нагрузкой Н11: 1) нагрузка расположена на пролетном строении; 2) на призме обрушения.
 Расчетная схема приведена на рис. 3, деформированная схема – на рис. 4.

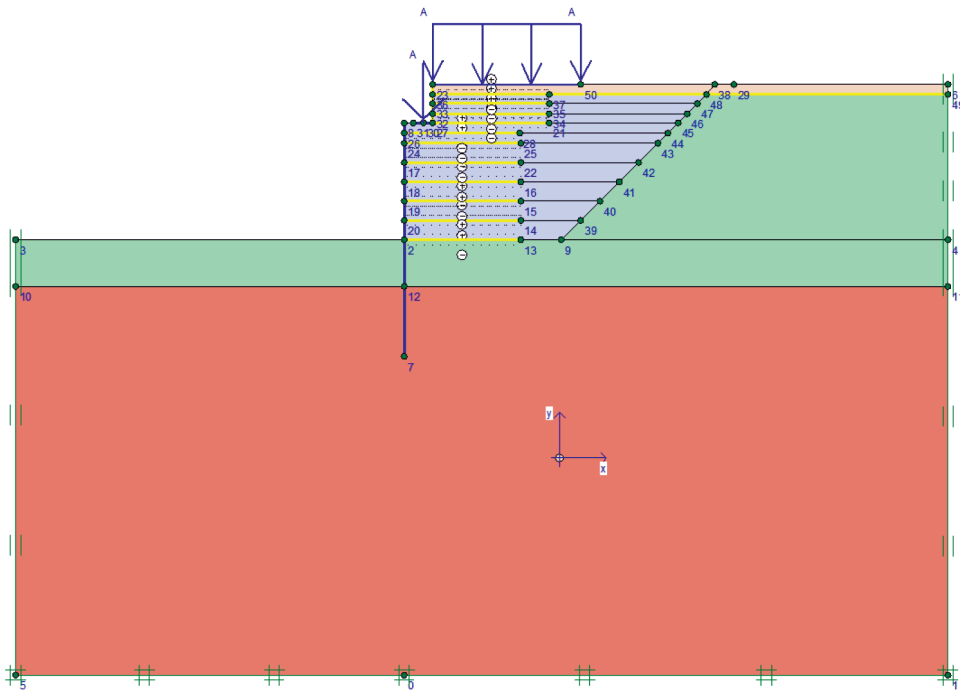


Рис. 3. Расчетная схема армогрунтового устоя (А – вертикальная нагрузка)

Fig. 3. Calculation scheme of the reinforced soil abutment (A – vertical load)

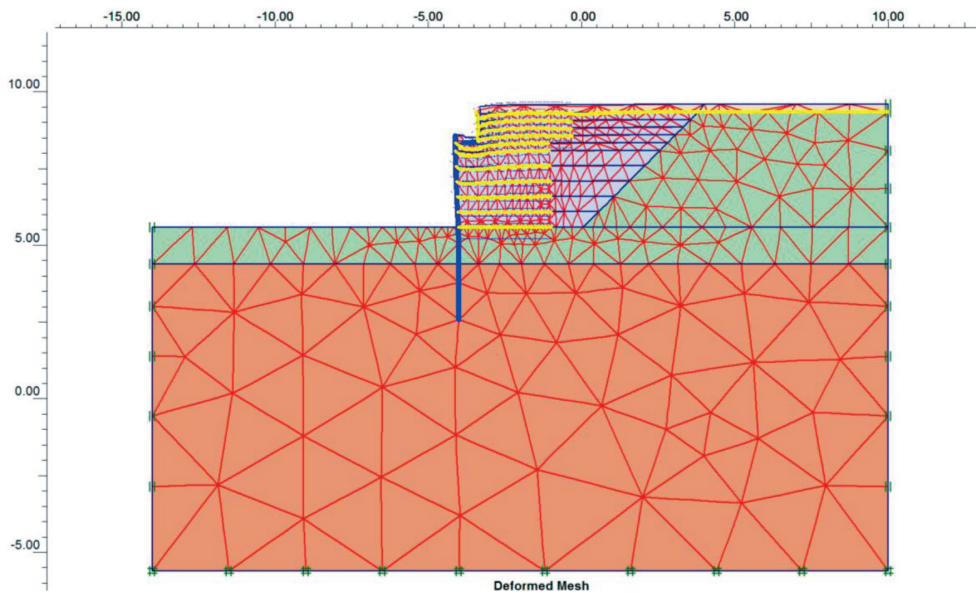


Рис. 4. Деформированная схема армогрунтового устоя по 1-й схеме загрузки.
 Программа Plaxis 2D

Fig. 4. Scheme of deformation of the reinforced soil abutment according to the first loading scheme. Made in Plaxis 2D software

Результаты расчета по 1-й группе предельных состояний на общую устойчивость следующие: коэффициент устойчивости для 1-й схемы загрузки равен 2,14; для 2-й – 1,44.

В СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы» величина коэффициента устойчивости конструкции против опрокидывания нормируется пунктом 5.4. Коэффициент устойчивости, определенный по формуле 5.1, составляет 1,375. Для армогрунтовых конструкций нормативный коэффициент запаса определяется в соответствии с пунктом 7.2.20. ОДМ 218.2.027–2012 «Методические рекомендации по расчету и проектированию армогрунтовых подпорных стен на автомобильных дорогах» и составляет 1,31. Таким образом, полученный нами расчетный коэффициент устойчивости выше нормативных значений.

Результаты расчета предельных состояний на внутреннюю устойчивость по 1-й группе предельных состояний и расчета по 2-й группе предельных состояний сведены в табл. 3, 4.

Таблица 3

Результаты расчета по 1-й группе предельных состояний на внутреннюю устойчивость

Calculation results for the first group of the limit states of internal stability

Номер армирующей прослойки (снизу вверх)	Растягивающие напряжения в армирующей прослойке, кН/м	
	для схемы загрузки	
	1	2
1	2,08	5,35
2	5,57	6,26
3	10,41	6,93
4	13,58	7,98
5	14,68	7,71
6	14,95	6,78
7	14,91	6,81
8	9,82	3,57
9	2,96	9,84
10	2,75	13,84

Таблица 4

Результаты расчета по 2-й группе предельных состояний

Calculation results for the second group of the limit states

Схема загрузки	Перемещение, мм	
	вертикальное	горизонтальное
1	78,77	37,30
2	46,10	47,51

При расчете армогрунтовых сооружений допустимый предел прочности для полимерных элементов определяется по пункту 7.2.14. ОДМ 218.2.027–2012 «Методические рекомендации по расчету и проектированию армогрунтовых подпорных стен на автомобильных дорогах» и должен быть равен:

$$T_D = T_V / f_m,$$

где T_D – расчетная предельная нагрузка на армоэлемент, кН/м; T_V – предел прочности арматуры на растяжение, кН/м; f_m – коэффициент запаса материала для данной арматуры, $f_m \leq 1,5$.

Для арматуры «Геоспан ТН-80» $T_D = 80/1,5 = 53,3$ кН/м, что существенно больше максимального усилия в армирующей прослойке, равного 14,85 кН/м.

В соответствии с требованиями пункта 11.1 СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы» основания и фундаменты мостов следует проектировать по СП 22.13330.2016. Предельные деформации основания фундаментов объектов нового строительства, согласно табл. Г1 пункта 2 СП 22.13330.2016, составляют 20 см для зданий и сооружений, в конструкциях которых не возникают усилия от неравномерных осадок, к таким конструкциям относятся и балочные мосты разрезной системы. Горизонтальные перемещения опор мостов по СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы» для балочных деревянных мостов не регламентируются.

Выводы

1. Анализ весовых и геометрических характеристик лесовозных автопоездов, применяемых на лесных дорогах, показал, что максимальную нагрузку на ось 156,8 кН оказывает автомобиль Iveco-АМТ 633920 (6×6).

2. Максимальное усилие на устой дает нормативная временная нагрузка Н11, а минимальное – А11. Усилие от лесовозного автопоезда на базе автомобиля Iveco-АМТ 633920 (6×6) значительно превышает воздействие от нормативной нагрузки А11, но немного меньше, чем усилие от нормативной нагрузки Н11. Поэтому при проектировании мостов на лесовозных дорогах необходимо проводить дополнительные расчеты на пропуск тяжелых лесовозных автопоездов.

3. Выполненные расчеты по 2 группам предельных состояний показали, что армогрунтовый устой по всем показателям соответствует требованиям нормативных документов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Кузнецов А.В. Анализ применения лесовозных автопоездов в реальных ареалах эксплуатации // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 6, ч. 2. С. 265–269.

Kuznetsov A.V. Analysis of Using Log Trucks in Real Areas of Operation. *Sovremennyye naukoemkiye tekhnologii* = Modern High Technologies, 2021, no. 6(2), pp. 265–269. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/snt.38732>

2. Мищенко Д.С. Обзор деревянного мостостроения в России // Инновационные методы проектирования строительных конструкций зданий и сооружений: сб. науч. тр. IV Всерос. науч.-практ. конф., 22 нояб. 2022 г. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2022. С. 363–366.

Mishchenko D.S. Review of Wooden Bridge Construction in Russia. *Innovative Methods for Engineering Projecting of Buildings and Constructions. Proceedings of the 4th All-Russian Scientific and Practical Conference, November 22, 2022*. Kursk, SWSU Publ., 2022, pp. 363–366. (In Russ.).

3. Подъяпольская М.А., Вербицкий И.О., Вербицкая Е.В. Деревянные мосты. Мостостроение с использованием древесины в прошлом и сейчас // Ползуновский альманах. 2022. № 1. С. 168–170.

Podyapolskaya M.A., Verbitskiy I.O., Verbitskaya E.V. Wooden Bridges. Past and Present of Wood Bridge Constriction. *Polzunovskiy al'manakh*, 2022, no. 1, pp. 168–170. (In Russ.).

4. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2015617003. Программный комплекс для расчета внешней устойчивости подпорных стен («Retaining Wall»): № 2015613701: заявл. 06.05.2015: опублик. 20.07.2015 / В.Д. Соколова, В.И. Клевеко.

Sokolova V.D., Kleveko V.I. *Software Package for Calculating the External Stability of Retaining Walls («Retaining Wall»)*. Certificate of registration of the computer program RF, no. RU 2015617003, 2015. (In Russ.).

5. Соколова В.Д. Применение армогрунта в конструкции устоев моста на лесовозной дороге // Северогеоэкотех-2014: материалы междунар. молодеж. науч. конф., 26–28 марта 2014 г. Ч. 4. Ухта: УГТУ, 2014. С. 102–104.

Sokolova V.D. Application of Reinforcement Soil in the Construction of Bridge Abutments on the Logging Road. *Severogeoekotekh – 2014: Proceedings of International Young Scientists Conference, March 26–28, 2014. Part 4*. Ukhta, USTU Publ., 2014, pp. 102–104. (In Russ.).

6. Соколова В.Д. Сравнительный анализ результатов аналитического и численного методов расчета армогрунтовых подпорных стен // Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр. (по материалам VIII науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с междунар. участием, 23–26 апр. 2015 г.) / отв. ред. П.А. Белкин. Пермь: ПГНИУ, 2015. С. 116–119.

Sokolova V.D. Comparative Analysis of the Results of Analytical and Numerical Methods for Calculating Reinforced Soil Retaining Walls. *Geology in the Developing World: Proceedings of the 8th Scientific-Practical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists with International Participation, 23–26 April 2015*. Ed. by P.A. Belkin. Perm, PSU Publ., 2015, pp. 116–119. (In Russ.).

7. Соколова В.Д., Клевеко В.И. Основные положения по расчету армогрунтового устоя моста // Будущее науки-2014: сб. науч. ст. II Междунар. молодеж. науч. конф., 23–25 апр. 2014 г. / отв. ред. А.А. Горохов. Т. 2. Курск: Унив. кн., 2014. С. 236–239.

Sokolova V.D., Kleveko V.I. Main Principles for Calculation of Reinforced Soil Bridge Abutment. *Future of Science – 2014: Proceedings of the 2nd International Young Scientists Conference, April 23–25, 2014*. Ed. by A.A. Gorokhov. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2014, vol. 2, pp. 236–239. (In Russ.).

8. Соколова В.Д., Клевеко В.И. Применение армированного грунта в конструкции устоев моста // Экология и науч.-техн. прогресс. Урбанистика. 2014. № 1. С. 367–373.

Sokolova V.D., Kleveko V.I. The Use of Reinforced Soil in the Construction of Bridge Abutments. *Ecology and Scientific-Technical Progress. Urbanistics: Proceedings of the 12th All-Russian Scientific-Practical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists with International Participation*. Perm, 2014, no. 1, pp. 367–373. (In Russ.).

9. Соколова В.Д., Клевеко В.И. Экономическое обоснование применения армированного грунта в конструкции устоев мостов // Актуальные направления фундаментальных и прикладных исследований: материалы V междунар. науч.-практ. конф., North Charleston, SC, USA, 22–23 дек. 2014 г. Т. 1. CreateSpace, 2015. С. 85–88.

Sokolova V.D., Kleveko V.I. Economic Justification for the Use of Reinforced Soil in the Construction of Bridge Abutments. *Actual Directions of Fundamental and Applied Research: Proceedings of the 5th International Scientific-Practical Conference, North Charleston, SC, USA, 22–23 December 2014*. CreateSpace Publ., 2015, vol. 1, pp. 85–88. (In Russ.).

10. Стуков В.П. Современное деревянное мостостроение // Развитие Северо-Арктического региона: проблемы и решения: материалы науч. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотр. и аспирантов Сев. (Арктич.) федер. ун-та им. М.В. Ломоносова, 19–26 марта 2015 г. Архангельск: САФУ, 2015. С. 343–348.

Stukov V.P. Modern Wooden Bridge Building. *Development of the North Arctic Region: Problems and Solutions. Proceedings of the Scientific Conference of the Professional and Teaching Supervisors, Research Assistants and Graduate Students of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, March 19–26, 2015*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2015, pp. 343–348. (In Russ.).

11. Стуков В.П. Развитие деревянных мостов и их применение в условиях Севера // Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 29–30 нояб. 2018 г. Комсомольск-на-Амуре: КНАГУ, 2019. С. 316–321.

Stukov V.P. Development of Wooden Bridges and Their Application in the Conditions of the North. *Regional Aspects of the Development of Science and Education in the Fields of Architecture, Construction, Boundary Survey and Cadastres at the Beginning of the 3rd Millennium: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, 29–30 November 2018*. Komsomolsk-on-Amur, KnASU Publ., 2019, pp. 316–321. (In Russ.).

12. Уткин В.А., Матвеев С.А. Особенности проектирования деревянных мостов автомобильных лесовозных дорог // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 1. С. 126–152.

Utkin V.A., Matveev S.A. Features of Designing Wooden Bridges of the Forest Complex. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2023, no. 1, pp. 126–152. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-1-126-152>

13. Цыганков А.В. Проектирование и расчет деревянных автодорожных мостов. Пермь: ПГТУ, 2007. 434 с.

Tsygankov A.V. *Projecting and Computation of Wooden Road Bridges*. Perm, PSU Publ., 2007. 434 p. (In Russ.).

14. Askari M., Razeghi H.R., Mamaghanian J. Numerical Study of Geosynthetic Reinforced Soil Bridge Abutment Performance Under Static and Seismic Loading Considering Effects of Bridge Deck. *Geotextiles and Geomembranes*, 2021, vol. 49, no. 5, pp. 1339–1354. <https://doi.org/10.1016/j.geotextmem.2021.05.007>

15. Jelušič P., Žlender B. Experimental Study of a Geosynthetic-Reinforced Soil Bridge Abutment. *Geosynthetics International*, 2021, vol. 28, no. 5, pp. 479–490. <https://doi.org/10.1680/jgein.21.00022>

16. Kupec J. Bridge Abutments from Geogrid Reinforced Soil. *NZ Geomechanics News*, 2021, iss. 102. Available at: <https://www.nzgs.org/libraries/bridge-abutments-from-geogrid-reinforced-soil/> (accessed 20.12.2022).

17. Tatsuoka F., Tateyama M., Koda M., Kojima K., Yonezawa T., Shindo Y., Tamai S. Research and Construction of Geosynthetic-Reinforced Soil Integral Bridges. *Transportation Geotechnics*, 2016, vol. 8, pp. 4–25. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2016.03.006>

18. Vennapusa P., White D., Klaiber W., Wang Sh. Geosynthetic Reinforced Soil for Low-Volume Bridge Abutments. Final Report. *Center for CEER at Iowa State University*. 2012. Available at: https://intrans.iastate.edu/app/uploads/2018/03/GRS-for-Low-Volume-Bridge-Abutments_TR621_FINAL_UPDATED_HQ.pdf (accessed 20.12.2022).

19. Won M.-S., Langcuyan C.P. A Study of the Effects of Geosynthetic Reinforced Soil and Reinforcement Length on GRS Bridge Abutment. *Applied Sciences*, 2021, vol. 11, iss. 23, art. no. 11226. <https://doi.org/10.3390/app112311226>

20. Zornberg J.G., Abu-Hejleh N., Wang T. Geosynthetic – Reinforced Soil Bridge Abutments. *Geotechnical Fabrics Report*, 2001, vol. 19, no. 2, pp. 52–55. Available at: https://www.researchgate.net/publication/290006229_Geosynthetic_-_Reinforced_soil_bridge_abutments (accessed 12.12.2022).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article