

УДК 624.164.3

К.Р. Кашапова, В.И. Клевеко

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

АНАЛИЗ ВНЕШНЕЙ И ВНУТРЕННЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ АРМОГРУНТОВЫХ ПОДПОРНЫХ СТЕН

Подпорные стенки – конструкции, удерживающие грунт от обрушения. Одна из основных, применяемых в последнее время на практике конструкций – это подпорные стенки с использованием армогрунта. В работе приведены результаты расчета армогрунтовой подпорной стенки высотой 8,0 м на внешнюю и внутреннюю устойчивость. Расчеты были выполнены аналитическими методами на основе анализа внешней и внутренней устойчивости армированных грунтовых стен. Анализ полученных результатов расчета на внешнюю устойчивость показал, что конструкция подпорной стенки из армированного грунта имеет более чем десятикратный запас прочности. Поэтому особую актуальность имеют расчеты на внутреннюю устойчивость, т.е. определение параметров армирования – шаг армирования, длина армирующих прослоек и максимально допустимое растягивающее усилие в армирующих прослойках, по которому подбирается конкретный геосинтетический материал, с учетом его прочностных, деформационных и эксплуатационных характеристик. При расчетах подпорных стен на внутреннюю устойчивость необходимо учитывать воздействие постоянных и временных нагрузок. Учет постоянных нагрузок осуществляется обычным способом. В расчетах должны учитываться два типа временных нагрузок: нагрузки, возникающие в процессе возведения конструкции (строительные нагрузки), и нагрузки, возникающие в процессе эксплуатации. Анализ значений временных нагрузок показал, что воздействие от строительных нагрузок более чем в два раза превышает воздействие нагрузок от автомобилей, возникающее при эксплуатации подпорной стенки. Поэтому при проектировании подпорных стенок необходимо проводить расчеты на воздействие как строительных, так и автомобильных нагрузок.

Ключевые слова: откосы, подпорные стенки, армогрунтовые конструкции, геосинтетические решетки, армирование, расчет внешней устойчивости, расчет внутренней устойчивости.

K.R. Kashapova, V.I. Kleveko

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

ANALYSIS OF EXTERNAL AND INTERNAL STABILITY OF REINFORCED SOIL RETAINING WALLS

Retaining walls are constructions, which retaining the ground from collapsing. One of the main constructions of retaining walls used in practice is reinforced construction. This paper presents the results of calculation reinforced ground retaining wall on the external and internal stability. The calculations were performed with analytical methods based on the methods of analysis of internal and external stability of reinforced soil walls. Analysis of results is based on the external resistance showed that the construction of a retaining wall of a reinforced soil, more than ten times safety factor. Therefore, particular relevance are the calculations on internal stability, i.e., determination of the parameters of reinforcement – reinforcing step, the length of the reinforcing layers and the maximum tensile force in the reinforcing interlayers, which are chosen by specific geosynthetic material, because of its strength, deformation and performance. In the calculation of retaining walls on the internal resistance must take

into account the impact of permanent and temporary loads. Accounting for permanent loads carried in the usual way. The calculations should take into account two types of temporary loads: loads arising during construction of the structure (building load) and loads arising during operation. Analysis of the temporary loads showed that the effect of loads of building more than twice, the impact load from the vehicle occurring during the operation of the retaining wall. Therefore, when designing retaining walls must perform calculations as to the effect of building loads and the effect of automobile loads.

Keywords: slopes, retaining walls, reinforced soil constructions, geogrids, reinforcing, calculating of external stability, calculating of internal stability.

В современном мире наблюдается тенденция к увеличению численности населения, вследствие чего происходит неизбежный рост городов, который, в свою очередь, ведет к расширению территорий.

Повышение уровня и качества жизни населения является одним из важнейших направлений развития России. Бурный рост городов, развитие их инфраструктуры, урбанизация территорий приводят к возникновению транспортных проблем. Частично решить данные проблемы может строительство новых транспортных магистралей, которое позволит увеличить пропускную способность, улучшить сообщение между населенными пунктами страны, усовершенствовать дорожную ситуацию в целом [1–3].

При постановке вопроса о возведении новых транспортных магистралей возникают новые проблемы, основные из которых – весьма разнообразный рельеф, отличающий территорию нашей страны, плотная городская застройка. Данные проблемы возможно решить при помощи возведения специальных транспортных сооружений: путепроводов, эстакад, виадуктов, подпорных стенок.

Подпорные стенки – специальные сооружения, позволяющие удерживать грунт от обрушения. Кроме того, подпорные стенки могут решить множество дизайнерских проблем, возникающих в процессе инженерной подготовки территорий. С их помощью возможно трассирование территории или ее полное выравнивание. Помимо того, при строительстве путепроводов подпорные стенки защищают от ветровой и водной эрозии.

Среди огромного выбора конструкций и материалов подпорных стен одними из наиболее экономичных и эффективных являются армированные подпорные стенки. Армирование грунтов позволяет улучшить их физико-механические свойства путем введения в грунт армирующих элементов. Данная технология помогает скомпенсировать и распределить действующую на конструкцию подпорной стенки нагрузку [4–7].

В качестве армирующего материала наиболее эффективными, экономичными и простыми в использовании являются геосинтетические материалы, в частности георешетки. Они обладают большим количеством положительных свойств: высокой прочностью, долговечностью, невосприимчивостью к коррозии, устойчивостью к воздействию низких температур и агрессивных сред и мн. др. Георешетки представляют собой двух- или трехмерную структуру переплетенных полос, которые соединяются при помощи высокопрочных сварных швов [8–10].

Использование армогрунтовых подпорных стенок позволяет создавать прочные, надежные и долговечные конструкции, однако перед непосредственным применением в реальных условиях необходимо еще на этапе проектирования произвести их расчет [11–14].

Основополагающими расчетами для армогрунтовых подпорных стен являются расчеты на их внешнюю и внутреннюю устойчивость, что и являлось целью данной работы.

Для анализа была использована конструкция подпорной стенки из армогрунта высотой 8 м с облицовкой из бетонных блоков, имеющих уклон 1:10. В качестве армирующего материала использованы прослойки георешетки из поливинилхлорида с прочностью на разрыв 35 кН/м, уложенные с шагом 0,6 м. Принятая длина армированных прослоек – 6 м. В качестве грунта засыпки использована песчано-гравийная смесь со следующими физико-механическими характеристиками: $\varphi = 35^\circ$, $c = 10$ кПа, $\gamma = 19$ кН/м³.

Конструкция подпорной стенки представлена на рисунке.

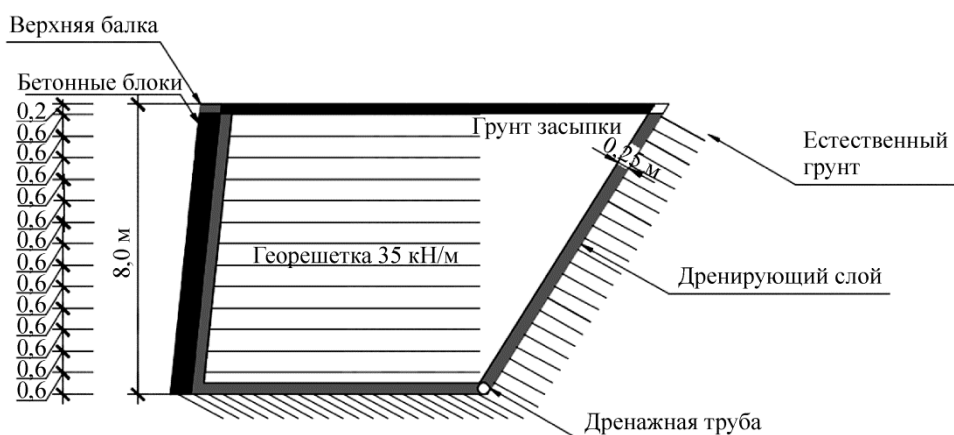


Рис. Конструкция подпорной стенки

Анализ внешней устойчивости армогрунтовой подпорной стенки аналитическим методом проводится в несколько этапов по методике, приведенной в работе [15].

Горизонтальное давление от собственного веса грунта, при отсутствии дополнительного давления, определяется как:

$$E = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a, \quad (1)$$

где γ – удельный вес грунта; H – высота конструкции; K_a – коэффициент бокового давления грунта, определяемый по формуле

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right), \quad (2)$$

где φ – угол внутреннего трения грунта.

Затем выполняется проверка против сдвига по подошве подпорной стенки. Коэффициент скольжения находится по формуле

$$FS = \frac{\gamma H L_r \operatorname{tg} \varphi}{\frac{1}{2} \gamma H^2 K_a}, \quad (3)$$

где L_r – минимальная длина армирующей прослойки, определяемая по формуле

$$L_r \geq \frac{3}{4} \frac{H K_a}{\operatorname{tg} \varphi}. \quad (4)$$

После этого выполняется проверка устойчивости на опрокидывание. Необходимо определить коэффициент надежности по формуле (6), который находится исходя из требуемой длины армирующей прослойки при расчете на опрокидывание:

$$L_r \geq \sqrt{\frac{2}{3} H^2 K_a}. \quad (5)$$

Коэффициент надежности определяется следующим образом:

$$FS = \frac{W \frac{L_r}{2}}{E \frac{H}{3}} = 3 \frac{L_r^2}{H^2 K_a}. \quad (6)$$

Последним этапом является проверка несущей способности грунта основания. Полученные на предыдущих этапах результаты должны обеспечивать условие, при котором эксцентриситет основания должен быть меньше 1/6 длины армирования, т.е.

$$e = \frac{E \frac{H}{3}}{R_z} = \frac{\gamma H^2 K_a \frac{H}{3}}{\gamma H L_r} = \frac{H^2 K_a}{6 L_r} \leq \frac{L_r}{6}. \quad (7)$$

Соответственно, при удовлетворении условия уплотнения основания минимальная длина армирующих прослоек определяется по формуле

$$L_r \geq H \sqrt{K_a}. \quad (8)$$

Результаты расчета сведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета внешней устойчивости подпорной стенки

Показатель	Значение
Горизонтальное давление E	164,16 кН/м
Коэффициент бокового давления K_a	0,27
<i>Проверка против сдвига по подошве</i>	
Коэффициент скольжения FS	1,5
Минимальная длина армирующей прослойки L_r	2,7
<i>Проверка устойчивости на опрокидывание</i>	
Коэффициент надежности FS	2,01
Минимальная длина армирующей прослойки L_r	3,4
<i>Проверка по несущей способности грунта основания</i>	
Минимальная длина армирующей прослойки L_r	3,6

Исходя из вышеполученных результатов можно сделать вывод, что необходимая минимальная длина георешетки для обеспечения выполнения условий против сдвига, опрокидывания, а также уплотнения должна составлять 3,6 м.

В качестве исходных данных были приняты геосинтетические решетки длиной 6 м, что не противоречит данному условию.

Далее необходимо определить допустимую нагрузку на грунт для распределения действующих напряжений у основания подпорной стенки:

$$\sigma_{z,b} = \frac{R_z}{L_r - 2e} = \frac{\gamma H L_r}{L_r - 2 \frac{K_a H^2}{6 L_r}} = \frac{\gamma H}{1 - \frac{K_a}{3} \left(\frac{H}{L_r} \right)^2}. \quad (9)$$

Несущая способность грунта определяется по формуле

$$q_{ult} = \gamma D + c N_c f_{ci} + \gamma D (N_q - 1) f_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma f_{\gamma i}, \quad (10)$$

где D – величина заглубления; c – удельное сцепление грунта; N_c, N_q, N_γ – значения нагрузок, определяемые в зависимости от угла внутреннего трения [15]; B' – эффективная ширина основания, определяемая по формуле

$$B' = L_r - 2e, \quad (11)$$

$f_{qi}, f_{ci}, f_{\gamma i}$ – коэффициенты угла наклона, равнодействующей силы и эксцентриситета, определяемые по формулам соответственно:

$$f_{qi} = \left[1 - \frac{R_h}{R_v + B' c \operatorname{ctg}(\varphi)} \right]^2; \quad (12)$$

$$f_{ci} = f_{qi} - \frac{1 - f_{qi}}{N_c \operatorname{tg}(\varphi)}; \quad (13)$$

$$f_{\gamma i} = (f_{qi})^{3/2}, \quad (14)$$

где R_h – результирующая горизонтальных напряжений и сил, принимается равной активной нагрузке; R_v – результирующая вертикальных напряжений и сил, принимаемая равной весу армированного грунта.

Запас прочности грунтового основания определяется по формуле

$$FS = \frac{q_{ult}}{\sigma'_{z,b}}. \quad (15)$$

Результаты расчета на несущую способность грунта приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета на несущую способность грунта

Показатель	Значение
Допустимая нагрузка на грунт $\sigma'_{z,b}$	180,9 кН/м ²
Коэффициент угла наклона f_{qi}	0,72
Коэффициент равнодействующей силы f_{ci}	0,71
Коэффициент эксцентриситета $f_{\gamma i}$	0,80
Несущая способность грунта q_{ult}	2351,35 кПа
Запас прочности грунтового основания FS	12,99

Выполненные расчеты показали, что принятая конструкция армогрунтовой подпорной стенки обладает большим запасом прочности на внешнюю устойчивость.

Кроме расчета на внешнюю устойчивость, подпорные стенки обязательно рассчитывают на временные нагрузки. Исследования показали, что на практике нагрузка от уплотняющих строительных машин, работающих на этапе строительства, больше временной нагрузки от автомобильного транспорта в процессе эксплуатации в несколько раз. Так, например, временная нагрузка от автотранспортных средств на дорогах общего пользования составляет 44,9 кПа, а для сравнительно малогабаритного катка, марки Дунарас СА134РD, – 110 кПа.

Поэтому вторым этапом расчета армогрунтовой подпорной стенки будет расчет на внутреннюю устойчивость от воздействия уплотняющей при строительстве нагрузки по методике, приведенной в работе [15].

Главной задачей при расчете внутренней устойчивости является определение параметров армирования: максимально допустимое растягивающее усилие, действующее в армирующих элементах, их длина и количество арматуры.

При выборе материала для армирования значительной характеристикой является его прочность на разрыв, которая зависит от максимально допустимого растягивающего усилия.

Растягивающее усилие зависит от линейной жесткости:

$$J_r = \frac{T}{\varepsilon}, \quad (16)$$

где T – растягивающее усилие; ε – относительное удлинение георешетки.

Поскольку максимально допустимое растягивающее усилие является функцией от линейной жесткости ($T_{\max} = f(J_r)$), анализ внутренней устойчивости необходимо проводить, используя метод итераций.

Действующее сопротивление выдергиванию армирующего элемента определяется по формуле

$$P_r = 2F^* \cdot a \cdot \sigma'_{z,b} \cdot L_e \geq FS \cdot T_{\max}, \quad (17)$$

где $F^* = f_a \cdot \operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент трения выдергиванию; f_a – коэффициент адгезии; a – масштабный фактор; L_e – длина заделки армирующих элементов, определяется по формуле

$$L_e = L_r - (H - z) \cdot \left[\operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) - \frac{1}{\operatorname{tg} w} \right]. \quad (18)$$

Коэффициент надежности FS определяется по формуле

$$FS = P_r / T_{\max}. \quad (19)$$

Расчеты первой и второй итераций представлены в табл. 3 и 4 соответственно. Расчет коэффициента надежности – в табл. 5. Линейная жесткость составила 700 кН/м.

Таблица 3

Результаты расчета по первой итерации

Слой	Шаг, м	Глубина, м	Показатель жесткости S_i , кПа	Вертикальное напряжение σ_z , кПа	σ_z/σ_{zc}	Растяжение β	Растягивающая сила T_{\max} , кН
1	–	0,2	0,03	3,80	0,03	35,5	12,65
2	0,6	0,8	0,03	15,23	0,14	35,5	11,98
3	0,6	1,4	0,03	26,76	0,24	35,5	12,05
4	0,6	2,0	0,03	38,46	0,35	35,5	12,11
5	0,6	2,6	0,03	50,42	0,46	35,5	12,14
6	0,6	3,2	0,03	62,73	0,57	35,5	12,19
7	0,6	3,8	0,03	75,47	0,69	35,5	12,22
8	0,6	4,4	0,03	88,75	0,81	35,5	12,23
9	0,6	5,0	0,03	102,70	0,93	35,5	12,25
10	0,6	5,6	0,03	117,45	1,07	35,5	12,28
11	0,6	6,2	0,03	133,16	1,21	35,5	12,29
12	0,6	6,8	0,03	150,01	1,36	35,5	12,32
13	0,6	7,4	0,03	168,24	1,53	35,5	12,37
14	0,6	8,0	0,03	188,12	1,00	54,6	12,42

Таблица 4

Результаты расчета по второй итерации

Слой	Шаг, м	Глубина, м	Показатель жесткости S_i , кПа	Вертикальное напряжение σ_z , кПа	σ_z/σ_{zc}	Растяжение β	Растягивающая сила T_{\max} , кН
1	–	0,2	0,077	3,80	0,03	13,8	15,59
2	0,6	0,8	0,090	15,23	0,14	11,9	15,04
3	0,6	1,4	0,090	26,76	0,24	11,9	15,11
4	0,6	2,0	0,090	38,46	0,35	11,9	17,11
5	0,6	2,6	0,090	50,42	0,46	11,9	17,24
6	0,6	3,2	0,090	62,73	0,57	11,9	17,32
7	0,6	3,8	0,090	75,47	0,69	11,9	19,15
8	0,6	4,4	0,090	88,75	0,81	11,9	19,21

Окончание табл. 4

Слой	Шаг, м	Глубина, м	Показатель жесткости S_b , кПа	Вертикальное напряжение σ_z , кПа	σ_z/σ_{zc}	Растяжение β	Растягивающая сила T_{max} , кН
9	0,6	5,0	0,090	102,70	0,93	11,9	20,01
10	0,6	5,6	0,090	117,45	1,07	11,9	20,08
11	0,6	6,2	0,090	133,16	1,21	11,9	20,34
12	0,6	6,8	0,090	150,01	1,36	11,9	21,21
13	0,6	7,4	0,090	168,24	1,53	11,9	21,32
14	0,6	8,0	0,180	188,12	1,00	6,4	22,08

Таблица 5

Результаты расчета коэффициента надежности

Армирующий слой	Глубина, z	Величина заделки L_e	Сопrotивление выдергиванию, P_r	Коэффициент надежности, FS	Растягивающая сила T_{max} , кН
1	0,2	1,94	8,25	0,53	15,59
2	0,8	2,25	38,38	2,55	15,04
3	1,4	2,56	76,79	5,08	15,11
4	2,0	2,88	123,85	7,24	17,11
5	2,6	3,19	180,01	10,44	17,24
6	3,2	3,50	245,89	14,20	17,32
7	3,8	3,81	322,25	16,83	19,15
8	4,4	4,13	410,05	21,35	19,21
9	5,0	4,44	510,43	25,51	20,01
10	5,6	4,75	624,83	31,12	20,08
11	6,2	5,06	754,99	37,12	20,34
12	6,8	5,38	903,06	42,58	21,21
13	7,4	5,69	1071,68	50,27	21,32
14	8,0	6,00	1264,16	57,25	22,08

Анализируя полученные результаты аналитических расчетов подпорной стены, можно сделать следующие выводы:

1. Для армогрунтовых подпорных стен сравнительно небольшой высоты (до 8,0 м) расчетом, определяющим ее конструкцию, является расчет на внутреннюю устойчивость. Выполненные расчеты показали, что принятая конструкция армогрунтовой подпорной стенки обладает большим запасом прочности на внешнюю устойчивость.

2. Расчет на внутреннюю устойчивость необходимо обязательно выполнять на строительные и эксплуатационные нагрузки, так как в ряде случаев усилия в армирующих прослойках, возникающие в процессе уплотнения грунтовой засыпки, могут превышать усилия от нагрузок, возникающих в процессе эксплуатации сооружения.

Список литературы

1. Телегин В.Г., Клевекко В.И. Проблемы транспортной системы города Перми и пути их решения // Сборник научных трудов SWorld. – Одесса, 2014. – Т. 1, № 1. – С. 11–17.

2. Третьякова П.А., Клевекко В.И. Современные методы повышения эффективности транспортных систем городов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2012. – С. 101–108.

3. Третьякова П.А., Клевекко В.И. Современные подходы к проектированию транспортных систем городских территорий // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – Т. 2. – С. 155–161.

4. Клевекко В.И. Исследование работы армированных глинистых оснований // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 4. – С. 101–110.

5. Клевекко 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.

6. Соколова В.Д., Клевекко В.И. Основные положения по расчету армогрунтового устоя моста // Будущее науки – 2014: сб. науч. ст. 2-й Междунар. молодеж. науч. конф.: в 3 т. / отв. ред. А.А. Горохов. – Курск, 2014. – С. 236–239.

7. Кашапова К.Р., Моисеева О.В., Клевекко В.И. Анализ напряженно-деформированного состояния несущих конструкций подземного пешеходного перехода в зависимости от глубины его заложения // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2014. – № 4. – С. 27–39.

8. Методы строительства армогрунтовых конструкций: учеб.-метод. пособие / В.Г. Офрихтер, А.Б. Пономарев, В.И. Клевекко, К.В. Решетникова. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – 145 с.

9. Клевекко В.И. Оценка величины осадки фундамента на глинистых основаниях, армированных горизонтальными прослойками // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 1. – С. 89–98.

10. Клевеко 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.

11. Некоторые результаты исследований армогрунтовых оснований / Д.Г. Золотозубов, В.И. Клевеко, А.Б. Пономарев, Р.С. Нестеров // Актуальные проблемы геотехники: сб. ст., посвященный 60-летию профессора А.Н. Богомолова / ВолгГАСУ. – Волгоград, 2014. – С. 165–171.

12. Клевеко В.И. Исследование работы армированных глинистых оснований // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 4. – С. 101–110.

13. Клевеко В.И. Оценка напряженно-деформированного состояния армированных оснований в пылевато-глинистых грунтах: дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 2002. – 152 с.

14. Пономарев А.Б., Татьянников Д.А., Клевеко В.И. Определение линейной жесткости геосинтетических материалов [Электронный ресурс] // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. – 2013. – Вып. 2(27). – URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PonomarevTatyannikovKleveko-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PonomarevTatyannikovKleveko-2013_2(27).pdf) (дата обращения: 29.10.2015).

15. Ehrlich M., Becker L. Reinforced soil walls and slopes: design and construction. – Sao Paulo: Oficina de Textos, 2010. – P. 89-93.

References

1. Telegin V.G., Kleveko V.I. Problemy transportnoi sistemy goroda Permi i puti ikh resheniia [The problems of the transport system of the city of Perm and their solutions]. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld*. Odessa, 2014, vol. 1, no. 1, pp. 11-17.

2. Tret'iakova P.A., Kleveko V.I. Sovremennye metody povysheniia effektivnosti transportnykh sistem gorodov [Modern methods of increasing the efficiency of the transport systems of cities]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2012, pp. 101-108.

3. Tret'iakova P.A., Kleveko V.I. Sovremennye podkhody k proektirovaniu transportnykh sistem gorodskikh territorii [Modern ap-

proaches to the design of transport systems in urban areas]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Modernizatsiia i nauchnye issledovaniia v transportnom komplekse"*. Perm': Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2012, vol. 2, pp. 155-161.

4. Kleveko V.I. Issledovanie raboty armirovannykh glinistykh osnovanii [Research work of reinforced clay bases]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 4, pp. 101-110.

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

6. Sokolova V.D., Kleveko V.I. Osnovnye polozheniia po raschetu armogruntovoogo ustoiia mosta [The main provisions for the calculation of reinforced soil bridge abutment]. *Sbornik nauchnykh statei 2-i Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii "Budushchee nauki – 2014"*. Ed. A.A. Gorokhov. Kursk, 2014, pp. 236-239.

7. Kashapova K.R., Moiseeva O.V., Kleveko V.I. Analiz napriazhenno-deformirovannogo sostoiianiia nesushchikh konstruksii podzemnogo peshekhodnogo perekhoda v zavisimosti ot glubiny ego zalozheniia [Analysis of stress-strain state of the supporting structures of the underground pedestrian crossing, depending on the depth of its laying]. *Transport. Transportnye sooruzheniia. Ekologiya*, 2014, no. 4, pp. 27-39.

8. Ofrikhter V.G., Ponomarev A.B., Kleveko V.I., Reshetnikova K.V. Metody stroitel'stva armogruntovykh konstruksii [Methods for the construction of reinforced soil structures]. Perm': Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2010. 145 p.

9. Kleveko V.I. Otsenka velichiny osadki fundamenta na glinistykh osnovaniakh, armirovannykh gorizontalnymi prosloikami [An estimate of the deformation of the foundation on the basis of clay reinforced with horizontal layers]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Okhrana okruzhaiushchei sredy, transport, bezopasnost' zhiznedeiatel'nosti*, 2012, no. 1, pp. 89-98.

10. Kleveko V.I. Primenenie geosinteticheskikh materialov v dorozhnom stroitel'stve v usloviakh Permskogo kraia [The use of

geosynthetics in road construction in the conditions of the Perm region]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2013, no. 1, pp. 114-123.

11. Zolotozubov D.G., Kleveko V.I., Ponomarev A.B., Nesterov R.S. Nekotorye rezul'taty issledovaniia armogruntovykh osnovanii [Some research results reinforced soil bases]. *Sbornik statei "Aktual'nye problemy geotekhniki", posviashchennyi 60-letiiu professora A.N. Bogomolova*. Volgograd: VolgGASU, 2014, pp. 165-171.

12. Kleveko V.I. Issledovanie raboty armirovannykh glinistykh osnovanii [Research work reinforced clay bases]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 4, pp. 101-110.

13. Kleveko V.I. Otsenka napriazhenno-deformirovannogo sostoianiia armirovannykh osnovanii v pylevato-glinistykh gruntakh [Estimation of the stress-strain state of reinforced bases in silty clay soils]. Thesis of Ph.D.'s degree dissertation, Perm', 2002. 152 p.

14. Ponomarev A.B., Tat'iannikov D.A., Kleveko V.I. Opredelenie lineinoi zhestkosti geosinteticheskikh materialov [Determination of the linear stiffness of geosynthetics]. *Internet-vestnik VolgGASU. Seriiia "Politematicheskaiia"*, 2013, no. 2 (27), available at: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PonomarevTatyannikovKleveko-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PonomarevTatyannikovKleveko-2013_2(27).pdf) (accessed 29 October 2015).

15. Ehrlich M., Becker L. Reinforced soil walls and slopes: design and construction. Sao Paulo: Oficina de Textos, 2010, pp. 89-93.

Получено 2.11.2015

Сведения об авторах

Кашапова Катарина Равилевна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: katenka789@yandex.ru).

Клевеко Владимир Иванович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительное производство и геотехника» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vlivkl@mail.ru).

About the authors

Katarina R. Kashapova (Perm, Russian Federation) – Master Student, Department of Construction Technology and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: katenka789@yandex.ru).

Vladimir I. Klevko (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Construction Technology and Geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: vlivkl@mail.ru).