

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.131 + 624.137 + 519.6

DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-4-8-20

# Расчет оснований массивных подпорных стен с применением электронных таблиц

**С.А. Тумаков, Г.Н. Голубь**

**Сергей Анатольевич Тумаков, Григорий Николаевич Голубь\***

Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Российская Федерация

*sergtum1958@yandex.ru, golubgn@ystu.ru\**



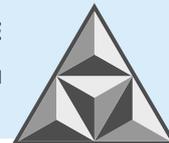
*Рассмотрен вопрос расчета оснований массивных подпорных стен. Показаны конструктивные особенности различных видов подпорных сооружений. Проведен анализ существующих теоретических и практических методов расчета оснований по несущей способности. Приведены актуализированные вычислительные формулы расчета нагрузок и давлений на подпорные сооружения. Дано описание инженерного метода расчета активного давления на подпорные сооружения. Показаны алгоритмы вычислительных операций расчета оснований по первой и второй группам предельных состояний в электронной таблице. Разобраны подробности вычислительного итерационного процесса обработки табличных данных коэффициентов несущей способности грунтового основания. Отражены результаты применения электронной таблицы в расчете оснований подпорной стены. Представлены выводы по проведенному исследованию применения электронных таблиц в расчетах оснований массивных подпорных стен.*

**Ключевые слова:** подпорные сооружения, давление грунта, предельные состояния, несущая способность основания, сдвиг по подошве, расчетное сопротивление

**Для цитирования:**

Тумаков С.А., Голубь Г.Н. Расчет оснований массивных подпорных стен с применением электронных таблиц // *Умные композиты в строительстве*. 2024. Т. 5, вып. 4. С. 8-20.  
URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/5562/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-4-8-20



SCIENTIFIC ARTICLE

DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-4-8-20

# Calculation of massive retaining wall foundations using spreadsheets

**S.A. Tumakov, G.N. Golub**

**Sergey Anatolyevich Tumakov, Grigory Nikolaevich Golub\***

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation

*sergtum1958@yandex.ru, golubgn@ystu.ru\**



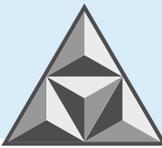
*The paper deals with the calculation of the foundations of massive retaining walls. The authors show the design features of various types of retaining structures. The paper analyses the existing theoretical and practical methods for calculating the bearing capacity of foundations. The paper provides updated computational formulae for calculating loads and pressures on retaining structures. The paper describes an engineering method for calculating the active pressure on retaining structures. The paper presents algorithms of computational operations for calculating foundations for the first and the second groups of limit states in a spreadsheet. The authors describe the details of the computational iterative process of tabular data of the load-bearing capacity coefficients for the soil foundation. The paper shows the results of spreadsheet application to the calculation of retaining wall foundations. The authors draw conclusions on the conducted study of spreadsheet application in calculations of solid retaining wall foundations.*

**Keywords:** retaining structures, soil pressure, limit states, bearing capacity of the foundation, shear on the base, calculated resistance

**For citation:**

Tumakov S.A., Golub G.N. Calculation of massive retaining wall foundations using spreadsheets // *Smart Composite in Construction*. 2024. Vol. 5, Iss. 4. P. 8-20. URL: <https://comincon.ru/ru/nauka/issue/5562/view>

DOI: 10.52957/2782-1919-2024-5-4-8-20



## ВВЕДЕНИЕ

Подпорной стеной является сооружение или конструкция, выполняемая для восприятия горизонтального давления и удержания грунта при различных высотных отметках с двух сторон стены. Подпорные стены широко применяются в гражданском и дорожном строительстве в тех случаях, когда необходимо обеспечить резкий перепад отметки планировки и удержать от обрушения находящийся за стеной массив грунта (рис. 1).



Рис. 1. Примеры подпорных сооружений

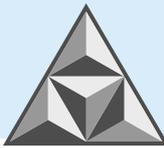
Fig. 1. Examples of retaining structures

Подпорные стены, которые удерживают грунт, сопротивляясь сдвигу и опрокидыванию за счет собственного веса, называют массивными подпорными стенами. Такие стены устраивают либо в предварительно устроенных траншеях, либо на поверхности земли (с последующей планировкой). Их изготавливают из железобетона, бетона, бутобетона и каменной кладки. Краткий исторический обзор по указанной теме приведен в [1].

Другим видом подпорных сооружений являются тонкостенные уголкового подпорные стены. Их устойчивость обеспечивается собственным весом стены и весом грунта, вовлекаемого конструкцией стены в работу. Еще один вид подпорных сооружений – гибкие, удерживающие грунт за счет заделки или введения дополнительных конструктивных элементов распорок и анкеров.

Актуальность вопроса применения и совершенствования расчета оснований подпорных стен обусловлена востребованностью данного вида сооружений. Точные модели расчета позволяют повысить надежность, а автоматизированные вычисления значительно снижают время выполнения проектных работ. Так, учет совместной работы уголкового подпорной стены с основанием показан в [2]. Определение пассивного давления грунта на подпорную стену с применением метода последовательного приближения описано в выпуске Белорусско-Российского университета [3], а общий подход к расчету грунта на подпорные стены в составе реализуемого проектного решения рассмотрен в [4].

Целью исследования является разработка и апробация инженерных методик расчета подпорных стен по актуализированным нормам проектирования с помощью электронных таблиц.



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Теоретические основы и примеры расчета оснований подпорных стен подробно разобраны в [5].

Основания подпорных сооружений, в соответствии со Сводом правил СП 22.13330.2016, рассчитываются по двум группам предельных состояний.

По первой группе предельных состояний оснований Свод правил СП 43.13330.2012 требует выполнить расчет устойчивости положения стены против сдвига и расчет устойчивости грунта основания под подошвой стены. Расчетная схема подпорной стены показана на рис. 2.

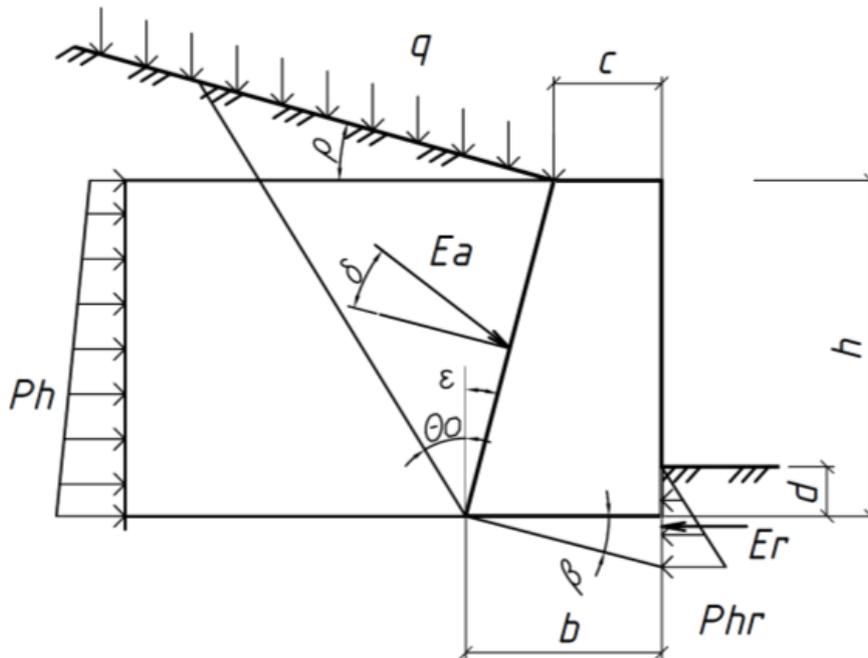


Рис. 2. Расчетная схема массивной подпорной стены

Fig. 2. Calculation diagram of a massive retaining wall

В настоящей работе рассматривается расчет оснований подпорных стен при следующих ограничениях: поверхность грунта – плоская; угол наклона поверхности грунта  $\rho$  меньше угла внутреннего трения  $\varphi$ ; на поверхности грунта может действовать равномерно распределенная нагрузка  $q$ ; слои грунта за подпорной стеной параллельны поверхности.

Горизонтальное активное давление на единицу высоты расчетной плоскости при  $\varepsilon < (45^\circ - \varphi/2)$  на глубине  $y$  определяем исходя из гипотезы плоских поверхностей скольжения [6, 7]:

$$p_h = p_y \lambda_a - 2C\sqrt{\lambda_a}, \quad (1)$$

где  $\lambda_a$  вычисляем при известном угле трения грунта на контакте с расчетной плоскостью  $\delta$ :

$$\lambda_a = \frac{\cos^2(\varphi - \varepsilon)}{\cos^2 \varepsilon \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta)\sin(\varphi - \rho)}{\cos(\varepsilon + \delta)\cos(\varepsilon - \rho)}} \right]^2}. \quad (2)$$

Вертикальное давление в грунте от собственного веса грунта и для расчетной плоскости на заданной глубине вычисляется по типовым формулам.

Для случая действия гусеничной нагрузки НГ-60 при движении вдоль подпорной стены, в соответствии с нормами проектирования СП 43.13330.2012, нормативное вертикальное давление на глубине определяем по формуле:



$$p_v^n = \frac{588}{a_y b_y}, \quad (3)$$

где  $a_y$  и  $b_y$  вычисляем по выражениям, приведенным на рис. 3, а расстояние  $a'$  – по формуле:

$$a' = a \frac{\operatorname{tg} \theta_o}{\operatorname{tg} \theta_o + \operatorname{tg} \varepsilon}. \quad (4)$$

Расстояние от поверхности грунта засыпки до начала эпюры интенсивности давления грунта от нагрузки  $y_a$  определяем:

$$y_a = \frac{a}{\operatorname{tg} \theta_o + \operatorname{tg} \varepsilon}. \quad (5)$$

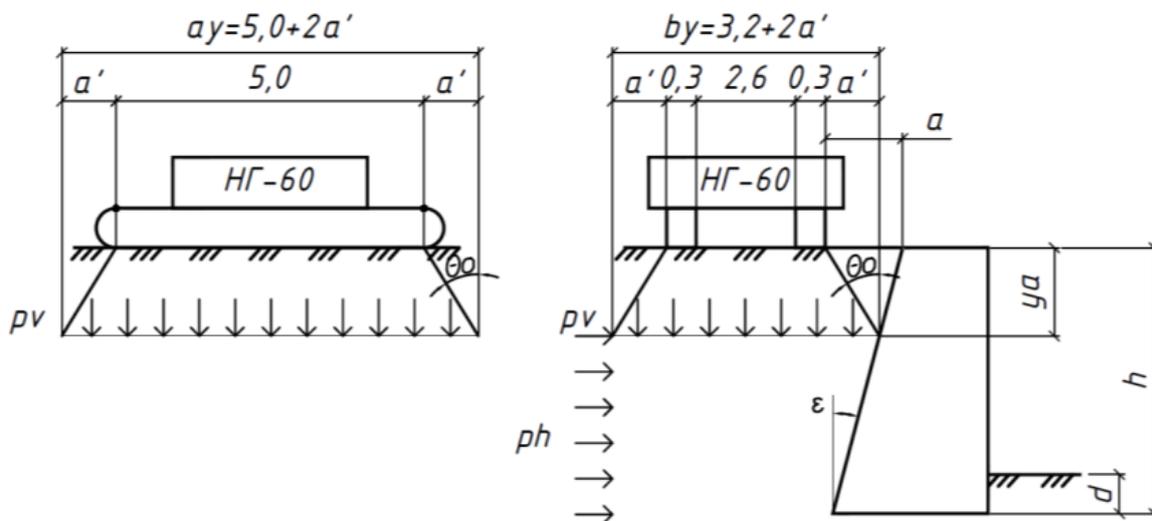


Рис. 3. Схема давления на сооружение от гусеничной нагрузки НГ-60

Fig. 3. Diagram of pressure on the structure by track load NG-60

Нормативное горизонтальное давление на подпорную стену от нагрузки НГ-60 определяем:

$$p_h^n = \lambda_a p_v^n. \quad (6)$$

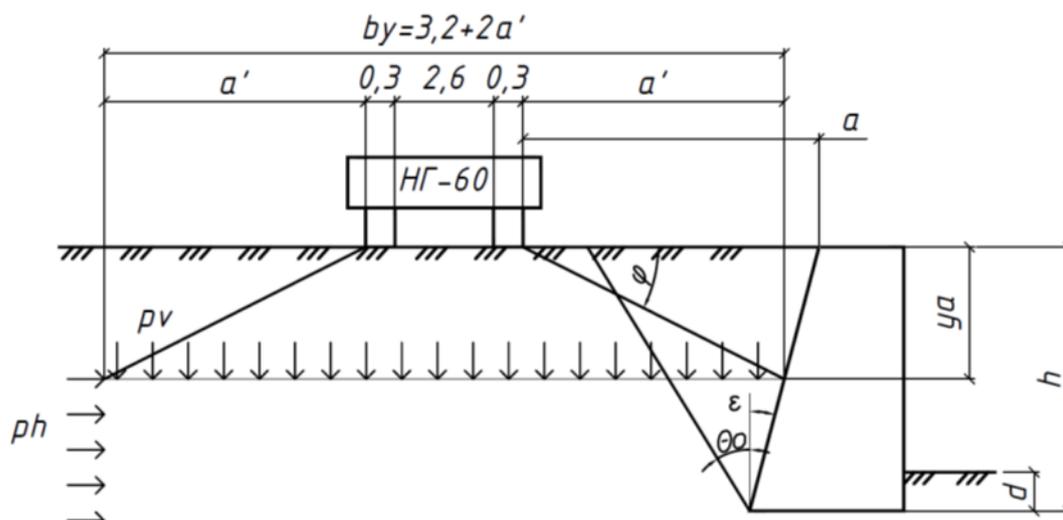
Расчетные значения давления от подвижных нагрузок получаем умножением нормативных давлений на коэффициент надежности по нагрузке.

В соответствии с правилами проектирования СП 381.1325800.2018 в случае расположения нагрузки за пределами призмы активного давления грунта на подпорную стену (рис. 4), расстояние от поверхности грунта засыпки до начала эпюры интенсивности давления грунта от нагрузки  $y_a$ :

$$y_a = \frac{a}{\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{tg} \varepsilon}. \quad (7)$$

Расстояние  $a'$  определим по формуле (8):

$$a' = a \frac{\operatorname{ctg} \varphi}{\operatorname{ctg} \varphi + \operatorname{tg} \varepsilon}. \quad (8)$$



**Рис. 4.** Схема давления на сооружение от гусеничной нагрузки, расположенной за призмой активного давления грунта

**Fig. 4.** Scheme of pressure on the structure caused by the crawler load located behind the active soil pressure prism

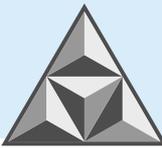
В настоящее время на рынке программного обеспечения имеется достаточное количество программ для расчета подпорных сооружений. Калькулятор подпорной стены SkyCiv выполняет расчеты основания подпорной стены по нормам ACI 318 и Еврокод 2. Программа ПоСт предназначена для выполнения расчета тонкостенных и массивных подпорных стен с учетом требований белорусских ТКП 45-5.01-67-2007 и ТКП 45-5.01-237-2011. Комплекс расчетов GEO5 позволяет решить широкий спектр задач подпорных сооружений по одной из пятидесяти настроек национальных стандартов. Продукты GIPRO, GeoWall, Фундамент, ОПОРА\_X дают возможность производить расчет и проектирование подпорных сооружений по отечественным нормам.

Электронные таблицы положительно зарекомендовали себя в различных сферах вычислений [8, 9]. В профессиональной деятельности строителей их используют в расчетах напряжений анизотропных оснований, гибких фундаментов на упругом основании и прочих расчетах строительных конструкций. Так, применение электронных таблиц для определения жесткости связи под острием сваи при оценке несущей способности железобетонной плиты пола цеха на армированном грунтовом основании описано в [10].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Продemonстрируем выполнение расчета основания массивной подпорной стены с использованием электронной таблицы. В демонстрируемом варианте расчета наложены следующие ограничения: рассматривается основание, сложенное одним грунтом; отсутствует грунтовая вода; поверхность грунта – горизонтальная; на поверхности грунта расположена гусеничная нагрузка НГ-60; геометрия подпорной стены соответствует таковой, представленной на рис. 2.

На рис. 5 показаны поля таблицы с вводимой информацией для расчета. Обязательными исходными данными являются характеристики грунта основания и засыпки для расчета по двум группам предельных состояний и геометрические характеристики подпорной стены.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	ГРУНТЫ	основание		рад			рад		габариты стены, м	
2		gamma1	18,90	gamma2		18		кН/м3	a	0,7
3		fi1, °	26	0,454 fi2, °		27	0,471		b	2,4
4		c1	8	c2		10		кПа	c	0,8
5									d	1,6
6	ГРУНТЫ	засыпка		рад			рад		h	6
7		gamma1	18	gamma2		17		кН/м3		
8		fi1, °	26	0,454 fi2, °		29	0,506			
9		c1	8	c2		9		кПа		
10	ограничение по c		4	ограничение по c		4,5		кПа		

Рис. 5. Поле таблицы для ввода исходной информации

Fig. 5. Table field for input of initial information

При вводе значений удельного сцепления грунта функцией ЕСЛИ (лог\_выражение; значение\_если\_истина; [значение\_если\_ложь]) автоматически устанавливаются ограничения, которые участвуют в расчетах.

После ввода исходной информации автоматически обновляются значения ячеек вычисления  $\delta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\lambda$  и  $\Theta$ .

При определении равнодействующей от давления на подпорную стену связного грунта и вычисленных по формуле (1) отрицательных давлениях в верхней части стены на участке с отрицательными давлениями принимается  $p_n = 0$ .

Согласно п. В.4 свода правил СП 43.13330.2012, давление на глубине  $h$  равно вычисленному, а вершина суммарной треугольной эпюры давления грунта переносится на поверхность. В ячейке С50 находится сдвигающая сила, равная сумме проекций сдвигающих сил на горизонтальную плоскость.

В такой электронной таблице предусмотрены проверки устойчивости подпорной стены против сдвига по формуле (9) для трех значений углов  $\beta$ :  $\beta_1 = 0$  – плоский сдвиг,  $\beta_2 = 0.5 \varphi_1$  и  $\beta_3 = 0.5 \varphi_1$  – глубинный сдвиг.

$$F_{sa} \leq (\gamma_c / \gamma_n) F_{sr}, \quad (9)$$

где  $F_{sr}$  определяют по формуле:

$$F_{sr} = F_v \operatorname{tg}(\varphi_1 - \beta) + A c_1 + E_{hr}, \quad (10)$$

где  $\varphi_1$  и  $c_1$  – характеристики грунта основания;

$A$  – площадь подошвы подпорной стены;

$E_{hr}$  – пассивное давление грунта, определяемое по приложению М [8].

Приведем на рис. 6 результат расчета на плоский сдвиг для угла  $\beta = 0$  и данных, приведенных на рис. 5.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
67	1 случай		бета =	0 град		0,000 рад				
68	F sr/γn	188,41	кН	<	F sa	200,02	кН		условие не выполнено	

Рис. 6. Результат расчета на плоский сдвиг

Fig. 6. Result of flat shear calculation



Условие (9) не выполняется. Для выполнения условия следует изменить один или несколько параметров габаритов подпорной стены. В частности, увеличение глубины заложения стены с 1.6 м на 2.0 м приводит к удовлетворению условия (9).

В рассматриваемом приложении электронной таблицы при выполнении условия  $tg \delta < \sin \varphi_1$  (здесь  $\delta$  – угол наклона равнодействующей внешней нагрузки на основание) предусмотрена проверка выполнения условия расчета основания по несущей способности. Вертикальная сила предельного сопротивления основания подпорной стены вычисляется по формуле из СП 22.13330.2016:

$$N_u = b'l'(N_\gamma \xi_\gamma b' \gamma_l + N_q \xi_q \gamma'_l d + N_c \xi_c c_l). \tag{11}$$

В настоящее время вопрос определения коэффициентов несущей способности основания  $N_\gamma$ ,  $N_q$  и  $N_c$  является решаемым. Наиболее удачно данная тема освещена в работе М.В. Малышева [11]. Также заслуживают внимания эмпирические формулы для вычисления коэффициентов [12], предложенные А.М. Карауловым. Учет длительности нагружения основания представлен в [13]. Численные методы расчета несущей способности описаны в работе Ван Баарса [14]. Поскольку предлагаемый алгоритм расчета оснований подпорной стены носит прикладной характер, нами при вычислении вертикальной силы предельного сопротивления основания использованы таблицы коэффициентов несущей способности основания  $N_\gamma$ ,  $N_q$  и  $N_c$  по СП 22.13330.2016. Для этого на лист 3 из СП 22.13330.2016 занесены данные по размерам коэффициентов  $N_\gamma$ ,  $N_q$  и  $N_c$  в зависимости от табличных значений  $\delta$  и  $\varphi_1$ . Поиск этих коэффициентов, с опорой на фактические размеры  $\delta$  и  $\varphi_1$ , осуществляется двойной интерполяцией. Сначала в столбце U вычисляют коэффициенты при фактическом  $\delta$  и табличных  $\varphi$ , затем путем второй интерполяции столбца U определяют коэффициенты исходя из фактического  $\varphi$ . Интерполирование выполняется при помощи стандартной функции электронной таблицы ПРЕДСКАЗ; поиск диапазона чисел производится с использованием функций ПОИСКПОЗ и СМЕЩ.

Пример вычисления коэффициента  $N_\gamma$  для  $\delta = 19.07^\circ$  и  $\varphi_1 = 26^\circ$  приведен на рис. 7.

ГРАДУСЫ		=ПРЕДСКАЗ(В16;СМЕЩ(У4:У13;ПОИСКПОЗ(В16;А4:А13;1)-1;0;2);СМЕЩ(А4:А13;ПОИСКПОЗ(В16;А4:А13;1)-1;0;2))																			
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
1	N <sub>γ</sub>																				
2	δ																				
3	φ	0	4,9	5	9,8	10	14,5	15	18,9	20	22,9	25	26,5	29,8	30	32,7	35	35,2	40	45	чек
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	5	0,2	0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	10	0,6	0,42	0,42	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	15	1,35	1,03	1,02	0,63	0,61	0,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	20	2,88	2,19	2,18	1,50	1,47	0,89	0,82	0,39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,33
9	25	5,87	4,53	4,5	3,23	3,18	2,12	2	1,26	1,05	0,58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,23
10	30	12,39	9,49	9,43	6,83	6,72	4,67	4,44	3,03	2,63	1,85	1,29	0,95	0	0	0	0	0	0	0	2,97
11	35	27,5	20,72	20,58	14,87	14,63	10,27	9,79	6,90	6,08	4,51	3,38	2,82	1,60	0	0	0	0	0	0	6,77
12	40	66,01	48,65	48,3	34,42	33,84	23,69	22,56	16,02	14,2	10,75	8,26	7,07	4,46	4,3	2,79	0	0	0	0	15,7
13	45	177,6	127,12	126,1	87,80	86,2	59,47	56,5	37,59	32,3	25,57	20,7	17,89	11,64	11,26	8,12	5,45	5,22	0	0	36,8
14																					
15	δ	19,07																			
16	φ	26																			
17	N <sub>γ</sub>	=ПРЕДСКАЗ(В16;СМЕЩ(У4:У13;ПОИСКПОЗ(В16;А4:А13;1)-1;0;2);СМЕЩ(А4:А13;ПОИСКПОЗ(В16;А4:А13;1)-1;0;2))																			

Рис. 7. Вычисление коэффициента  $N_\gamma$  по таблице данных  
 Fig. 7. Calculation of the  $N_\gamma$  coefficient using the data table

На рис. 8 представлен результат расчета основания подпорной стены по несущей способности. Характеристики грунтов взяты, как это показано на рис. 7. Габариты подпорной стены:  $a = 0.7$  м,  $b = 3.3$  м,  $c = 2.3$  м,  $d = 1.6$  м,  $h = 6.0$  м.



	A	B	C	D	E	F	G
128	b'	2,07 м					
129							
130	tg δ1	0,345655	<	sin φ1	0,438371		
131							
132	δ1	0,332799	рад	19,06799	градусы		
133			φ1	26	градусы		
134							
135	лист 3	N γ	1,575143	N q	5,576984	N c	9,203425
136							
137	N u/γп	548,02	кН	>	F v =	539,03	кН
138				условие выполнено			

**Рис. 8.** Результат расчета основания подпорной стены по несущей способности

**Fig. 8.** Result of the load-bearing capacity calculation of the retaining wall foundation

По второй группе предельных состояний в электронной таблице реализованы алгоритм вычисления среднего и максимального давления по подошве подпорной стены и проверка выполнения условий  $p \leq R$  и  $p_{max} \leq 1.2R$ . Расчетное сопротивление  $R$  находят согласно своду правил СП 22.13330.2016, давления по подошве фундамента вычисляют в зависимости от размера эксцентриситета равнодействующей вертикальной нагрузки на основание.

## ВЫВОДЫ

Для расчета оснований массивных подпорных стен по двум группам предельных состояний предложена электронная таблица, содержащая элементы автоматических вычислений по актуализированным нормам проектирования. Предлагаемая таблица в настоящее время используется в образовательном процессе Ярославского государственного технического университета (Россия) для студентов, обучающихся по направлению «Строительство». Результаты расчетов неоднократно проверены на соответствие результатов, полученных альтернативными способами.

Разработанную электронную таблицу рекомендуется применять при проведении практических расчетов оснований подпорных стен.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Черепанова Д.А.** Особенности применения современных габионных конструкций для повышения устойчивости грунтовых откосов // *Символ науки: межд. науч. журнал.* 2023. № 1 (1). С. 76-78.
2. **Кикава Т.Р., Мегрелишвили З.Н.** Некоторые вопросы расчета подпорной стенки // *Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности: сб. науч. тр. по мат. Межд. науч.-практ. конф.* Тамбов, 2013. С. 66-69.
3. **Кулабухов А.В., Смоляр А.П.** К вопросу о расчете пассивного давления грунта на подпорную стенку // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Мат. Международной науч.-техн. конф.* Могилев, 2024. С. 202.
4. **Поляков А.А.** Общий подход к расчету давления грунта на подпорные стенки // *Вестник Коломенского ин-та (филиала) Московского политех. ун-та. Сер.: Естественные и технические науки.* 2018. № 11. С. 187-191.
5. **Волосухин В.А., Дыба В.П., Евтушенко С.И.** Расчет и проектирование подпорных стен гидротехнических сооружений. М.: Изд. Ассоциации строит. вузов, 2015. 96 с.
6. **Шапиро Д.М.** Инженерный метод расчета давления грунта на подпорные стенки // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура.* 2017. Т. 8. № 3. С. 51-61. DOI 10.15593/2224-9826/2017.3.06.



7. **Шапиро Д.М.** Практический метод расчета оснований и грунтовых сооружений в нелинейной постановке // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 1985. № 5. С. 19-21.
8. **Дуркина Н.В.** О применении электронных таблиц Microsoft Excel в расчетах различных строительных конструкций // *Научные чтения: Сб. мат. науч.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава Сыктывкарского лес. ин-та по итогам науч.-исслед. работы в 2008 г.* Сыктывкар, 2009. С. 564-566.
9. **Демидова О.Л., Малинина Н.Л.** Подготовка студентов технических специальностей МАИ по дисциплине «Численные методы» с применением электронных таблиц Excel // *Мат. XIX Межд. конф. по вычислительной механике и современным прикладным программным системам (ВМСППС'2015)*. Алушта, 2015. С. 718-719.
10. **Тумаков С.А., Голубь Г.Н.** Оценка несущей способности железобетонной плиты пола цеха на армированном грунтовом основании // *Умные композиты в строительстве*. 2023. Т. 4. № 4. С. 8-19.
11. **Мальшев М.В.** Прочность грунтов и устойчивость оснований сооружений. М.: Стройиздат, 1994. 226 с.
12. **Караулов А.М.** Несущая способность оснований осесимметричных фундаментов зданий и сооружений // Спец. 05.23.02 «Основания и фундаменты, подземные сооружения»: дисс... доктора техн. наук. Новосибирск, 2008. 291 с.
13. **Мирсаяпов И.Т., Королева И.В.** Расчет несущей способности и осадок оснований фундаментов при длительном действии статической нагрузки // *Изв. Казанского гос. арх.-строит. ун-та*. 2011. № 3 (17). С. 71-78.
14. **Van Baars S.** Numerical check of the Meyerhof bearing capacity equation for shallow foundations // *Innovative Infrastructure Solutions*, 2017. № 3 (1). P. 1-13. DOI: 10.1007/s41062-017-0116-1.

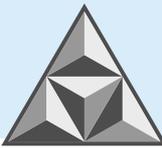
Поступила в редакцию 16.10.2024

Одобрена после рецензирования 19.11.2024

Принята к опубликованию 03.12.2024

## REFERENCES

1. **Cherepanova, D.A.** (2023), "Features of application of modern gabion structures for increasing the stability of soil slopes", *Simvol nauki: mezhd. nauch. zhurnal [Symbol of Science: Interd. scientific journal]*, vol. 1, no. 1, pp. 76-78 (in Russian).
2. **Kikava, T.R. and Megrelishvili, Z.N.** (2013), "Some issues of calculation of retaining wall", *Aktual'nye voprosy v nauchnoi rabote i obrazovatel'noi deyatel'nosti: sbornik nauchnykh trudov po mat. Mezhd. nauchno-prakt. konf [Actual issues in scientific work and educational activity: collection of scientific papers on mat. Inter. Sci. Pract. Conf.]*, Tambov, Russia, pp. 66-69 (in Russian).
3. **Kulabukhov, A.V. and Smolyar, A.P.** (2024), "On the issue of calculation of passive soil pressure on the retaining wall", *Materialy, oborudovanie i resursosberegayushchie tekhnologii: Mat. Mezhd. nauch.-tekhn. konf. [Materials, equipment and resource-saving technologies: Proc. of the International Scientific and Technical Conference]*, Mogilev, Belarus, p. 202 (in Russian).
4. **Polyakov, A.A.** (2018), "General approach to the calculation of soil pressure on retaining walls", *Vestnik Kolomenskogo in-ta (filiala) Moskovskogo politekh. un-ta. Ser.: Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Bulletin of Kolomna Institute (branch) of Moscow Polytechnic Univ. of Science and Technology. Ser.: Natural and technical sciences]*, no. 11, pp. 187-191 (in Russian).
5. **Volosukhin, V.A., Dyba, V.P. and Evtushenko, S.I.** (2015), "Расчет и проектирование подпорных стен гидротехнических сооружений" [Calculation and design of retaining walls of hydraulic structures], Izd. ASV, Moscow, Russia (in Russian).
6. **Shapiro, D.M.** (2017), 'Engineering method for calculating soil pressure on retaining walls', *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura [Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture]*, vol. 8, no 3, pp. 51-61. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.3.06 (in Russian).
7. **Shapiro, D.M.** (1985), 'A practical method for calculating foundations and soil structures in a nonlinear setting', *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov [Foundations, Foundations and Soil Mechanics]*, no. 5, pp. 19-21 (in Russian).



8. **Durkina, N.V.** (2009), 'About application of Microsoft Excel spreadsheets in calculations of various building constructions', *Nauchnye chteniya: Sb. mat. nauch.-prakt. konf. professorsko-prepodavatel'skogo sostava Syktyvkarskogo les. in-ta po itogam nauch.-issled. raboty v 2008 g. [Scientific readings: Collection of materials of scientific and practical conference of the teaching staff of Syktyvkar Forest Institute on the results of scientific and research work in 2008]*, Syktyvkar, Russia, pp. 564-566 (in Russian).
9. **Demidova, O.L. and Malinina, N.L.** (2015), 'Preparation of students of technical specialities of MAI on the discipline "Numerical Methods" with the use of Excel spreadsheets', *Mat. XIX Mezhd. konf. po vychislitel'noi mekhanike i sovremennym prikladnym programmnyim sistemam (VMSPPS'2015) [Mat. XIX Inter. Conf. on Computational Mechanics and Modern Applied Software Systems (VMSPPS'2015)]*, Alushta, Russia, pp. 718-719 (in Russian).
10. **Tumakov, S.A. and Golub, G.N.** (2023), 'Assessment of the load-bearing capacity of the existing reinforced concrete floor slab of the workshop on a reinforced soil foundation', *Umnye kompozity v stroitel'stve [Smart Composite in Construction]*, vol. 4, no. 4, pp. 8-19 (in Russian).
11. **Malyshev, M.V.** (1994), *Prochnost' gruntov i ustojchivost' osnovanij sooruzhenij [Strength of Soils and Stability of Foundations of Structures]*, Stroyizdat, Moscow, Russia (in Russian).
12. **Karaulov, A.M.** (2008), "Bearing capacity of axisymmetric foundations of buildings and structures", Abstract of D. Sc. dissertation, spec. 05.23.02 "Bases and Foundations, Underground Structures", Novosibirsk, Russia (in Russian).
13. **Mirsayapov, I.T. and Koroleva, I.V.** (2011), Calculation of bearing capacity and settlements of foundations under the long-term action of static load, *Izv. Kazanskogo gos. arkh.-stroit. un-ta [Proc. of Kazan State University of Architecture and Civil Engineering]*, vol. 3, no. 17, pp. 71-78 (in Russian).
14. **Van Baars, S.** (2017), Numerical check of the Meyerhof bearing capacity equation for shallow foundations, *Innovative Infrastructure Solutions*, vol. 3, no. 1, pp. 1-13. DOI: 10.1007/s41062-017-0116-1.

Received 16.10.2024

Approved 19.11.2024

Accepted 03.12.2024