

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-66-73>

УДК 626.01:626/627



## К РАСЧЕТУ КОНСТРУКЦИИ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ПЕРЕПАДА НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

М.М. Хасанов<sup>✉</sup>, А.А. Созаев, С.О. Курбанов, Ф. Алкассир

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова; 360030, КБР, г. Нальчик, пр-кт Ленина, 1В, Россия

**Аннотация.** В статье рассматривается новый тип двухступенчатого перепада авторской разработки и расчет его конструкции на упругом основании. Целью исследований явилось обоснование выбора расчетной схемы и методики статического расчета на прочность новой конструкции двухступенчатого перепада на искусственном упругом основании. Перепад предназначен для регулирования размываемых участков малых рек в условиях предгорных зон. Предлагаемая рамная конструкция сооружения на искусственном габионном основании позволяет решить вопросы устойчивости, взаимодействия сооружения с потоком и безопасной фильтрации под сооружением. Несущее основание перепада представляет собой систему перекрестных железобетонных балок на упругом основании, что позволяет использовать методику расчета ленточных монолитных фундаментов. Предложен эффективный подход к исследованию напряженно-деформированного состояния его несущих элементов. По результатам проведенных исследований определены задачи и методика расчета основных параметров перепада, обеспечивающих надежность и эффективность работы сооружения.

**Ключевые слова:** двухступенчатый перепад, предгорная зона, руслорегулирующее сооружение, упругое основание, надежность, напряженно-деформированное состояние, методика расчета, ленточный фундамент

**Формат цитирования:** Хасанов М.М., Созаев А.А., Курбанов С.О., Алкассир Ф. Расчет конструкции двухступенчатого перепада на упругом основании // Природообустройство. 2024. № 1. С. 66-73. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-66-73>

Original article

## ON THE DESIGN OF THE STRUCTURE OF A TWO-STAGE DIFFERENTIAL ON AN ELASTIC BASE

М.М. Khasanov<sup>✉</sup>, А.А. Sozaev, S.O. Kurbanov, A. Fayeze

Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov. 360030 Nalchik, Lenin avenue, 1B, Russia

**Abstract.** The article discusses a new type of a two-stage differential of the author's design and the calculation of its design on an elastic base. The drop is designed to regulate the eroded sections of small rivers in the conditions of foothill zones. The proposed frame structure of the construction on an artificial gabion base allows solving the issues of stability, interaction of the structure with the flow and safe filtration under the structure. The bearing base of the drop is a system of cross reinforced concrete beams on an elastic base which allows the use of a method for calculating tape monolithic foundations. At the same time, an effective approach to the study of the stress-strain state of its load-bearing elements is proposed. Based on the results of the conducted studies, the tasks and calculation methodology for calculating its main parameters that ensure the reliability and efficiency of the entire structure have been determined for this two-stage differential.

**Keywords:** two-stage drop, foothill zone, channel-regulating structure, elastic base, reliability, stress-strain state, calculation method, ribbon foundation

**Format of citation:** Khasanov M.M., Sozaev A.A., Kurbanov S.O., Alkassir Fayeze. On the design of the structure of a two-stage differential on an elastic base // Prirodoobustrojstvo. 2024. No 1. P. 66-73. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2024-1-66-73>

**Введение.** Надежность и долговечность гидротехнических сооружений обеспечиваются расчетами несущей способности и устойчивости системы «Сооружение-основание», которые производятся по двум группам метода предельных состояний в соответствии со сводами правил [1-3].

Нагрузки и воздействия при расчете отдельных видов гидротехнических сооружений принимаются по соответствующим строительным нормам и правилам в наиболее неблагоприятных, но реальных для рассматриваемого расчетного случая сочетаниях [4, 5].

Объектом исследований является руслорегулирующее сооружение в виде двухступенчатого двухкамерного перепада [6], разработанного для условий предгорной зоны малых рек и русел, сложенных размываемыми грунтами. Данное сооружение отличается от традиционных бетонных руслорегулирующих сооружений тем, что не имеет сплошного водонепроницаемого флютбета (рис. 1). Рамная конструкция сооружения на искусственном габионном основании позволяет решить вопросы взаимодействия сооружения с потоком и безопасной фильтрации под сооружением. В этих условиях важным становится вопрос исследования напряженно-деформированного состояния несущих элементов конструкции для установления параметров, обеспечивающих надежные эксплуатационные свойства данного сооружения.

**Цель исследований:** обоснование выбора расчетной схемы и методики статического расчета на прочность новой конструкции двухступенчатого перепада на искусственном упругом основании.

#### Материалы и методы исследований.

Конструктивные решения для сооружения приняты в монолитном варианте исходя из условий ее надежности и долговечности. Нижняя часть несущей конструкции, укладываемая на дно камер перепада, представлена системой перекрестных железобетонных балок (лент) на упругом основании (рис. 2), что позволяет использовать методику расчета ленточных монолитных фундаментов. Перекрестные балки, кроме изгиба, могут испытывать еще и кручение. Однако во многих случаях кручение имеет второстепенное значение или вообще не проявляется. Поэтому при решении задачи о несущей способности перекрестных балок кручение часто не учитывается, что значительно упрощает расчет. Результаты такого расчета дают запас прочности в пользу конструкции.

Для расчета принятой системы перекрестных железобетонных лент следует выделить из нее одну из продольных балок (лент) с прилегающими частями поперечных элементов. На рисунке 2 выделенная часть фундамента (вдоль осевой линии В) обозначена другим цветом.

Два из возможных вариантов расчетной схемы выделенной части исследуемой

конструкции как балки на упругом основании показаны на рисунке 3.

Вертикальная нагрузка представлена на расчетных схемах в виде сосредоточенных сил  $F_i$ , приложенных в центрах узлов пересекающихся железобетонных балок (лент) постоянного поперечного сечения. В этих местах на поперечные ленты фундамента наращиваются вертикальные водобойные стенки перепада. Расчетные величины сосредоточенных сил  $F_i$  в узлах перекрестных балок определяют с учетом массы выделенной части поперечных железобетонных лент (полос) вместе с водобойными стенками.

Исходные данные:

$b = 1,0$  м – ширина подошвы ленточных фундаментов;

$h_1 = 1,5$  м – высота водобойной стенки вместе с фундаментом (по оси 1);

$h_2 = 2,0$  м – высота водобойной стенки вместе с фундаментом (по оси 2);

$h_3 = 3,5$  м – высота водобойной стенки вместе с фундаментом (по оси 3);

$a = 9,7$  м – ширина выделенного участка в перекрестной системе балок;

$\rho = 2500$  кг/м<sup>3</sup> – плотность железобетона;

$g = 9,81 \approx 10$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения;

$\gamma_f = 1,1$  – коэффициент надежности по нагрузке.

Сосредоточенные силы:

$F_1 = g \cdot \rho \cdot V_1 \cdot \gamma_f = g \cdot \rho \cdot b \cdot a \cdot h_1 \cdot \gamma_f = 10 \cdot 2500 \cdot 1 \cdot 9,7 \cdot 1,5 \cdot 1,1 = 400125$  Н = 400,1 кН;

$F_2 = g \cdot \rho \cdot V_2 \cdot \gamma_f = g \cdot \rho \cdot b \cdot a \cdot h_2 \cdot \gamma_f = 10 \cdot 2500 \cdot 1 \cdot 9,7 \cdot 2 \cdot 1,1 = 533500$  Н = 533,5 кН;

$F_3 = g \cdot \rho \cdot V_3 \cdot \gamma_f = g \cdot \rho \cdot b \cdot a \cdot h_3 \cdot \gamma_f = 10 \cdot 2500 \cdot 1 \cdot 9,7 \cdot 3,5 \cdot 1,1 = 933625$  Н = 933,6 кН.

В качестве искусственного упругого основания предлагается принять балласт в виде габионного водонепроницаемого тюфяка, предусмотренного на горизонтальной ступени перепада. По этой схеме балки изгибаются от внешних нагрузок и вдавливаются в габионный тюфяк, от которого возникает реактивный упругий отпор, распределенный по подошвам балок. Поскольку закон изменения реактивного отпора не может быть определен из условия равновесия, конструкция в виде балок на упругом основании относится к статически неопределимым системам.

Опытным путем установлено, что реактивный отпор основания зависит от прогиба балки. Поэтому при расчете в качестве основной неизвестной принимают функцию прогиба  $v$  и составляют для нее соответствующее дифференциальное уравнение изогнутой оси балки. Из решения этого уравнения находят функцию  $v$ ,

а затем – внутренние усилия в балке с помощью известных зависимостей [7]:

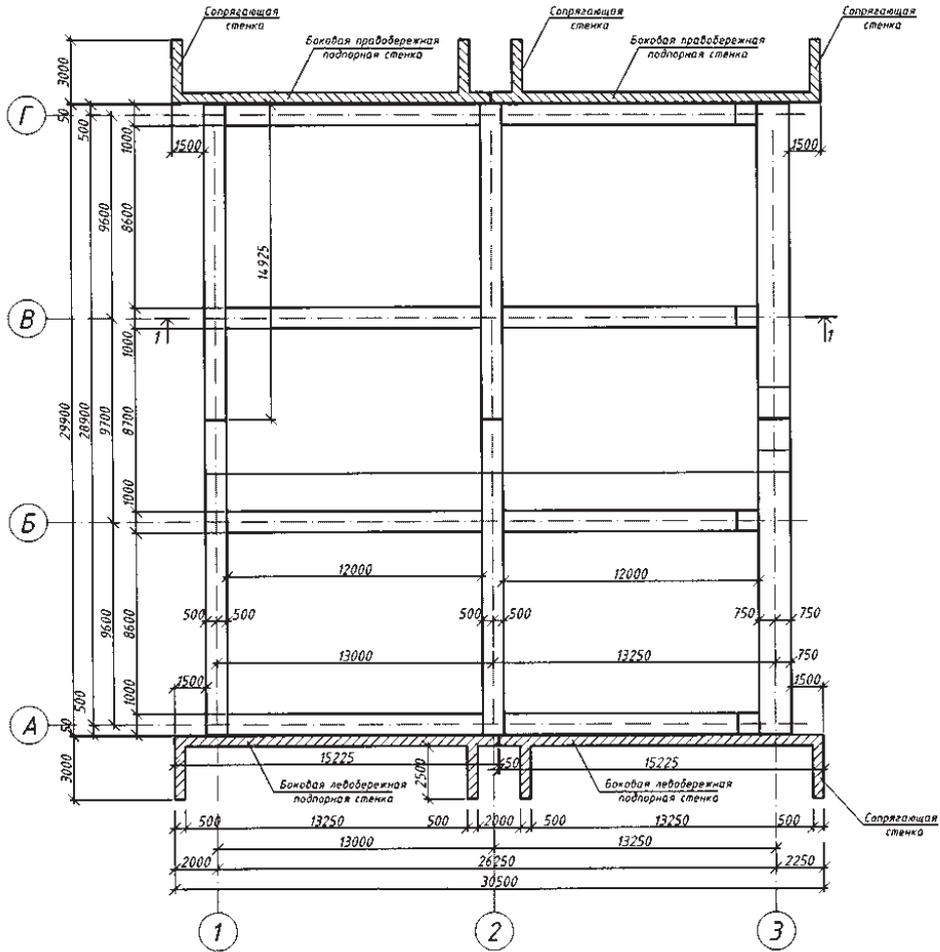
$$M = -EJv''; \quad Q = -EJv''' \quad (1)$$

Предварительно следует ввести гипотезу о зависимости между реактивным отпором основания и прогибом балки, то есть выбрать расчетную модель упругого основания.

В строительной механике для решения прикладных задач разработаны и применяются

различные расчетные модели упругого основания. Их можно подразделить на три группы:

- модели, базирующиеся на гипотезе Фуса-Винклера;
- модели упругого линейно-деформируемого полупространства (используются методы классической теории упругости);
- комбинированные модели упругого основания.



Сечение 1 - 1  
М 1:100 М 1:200

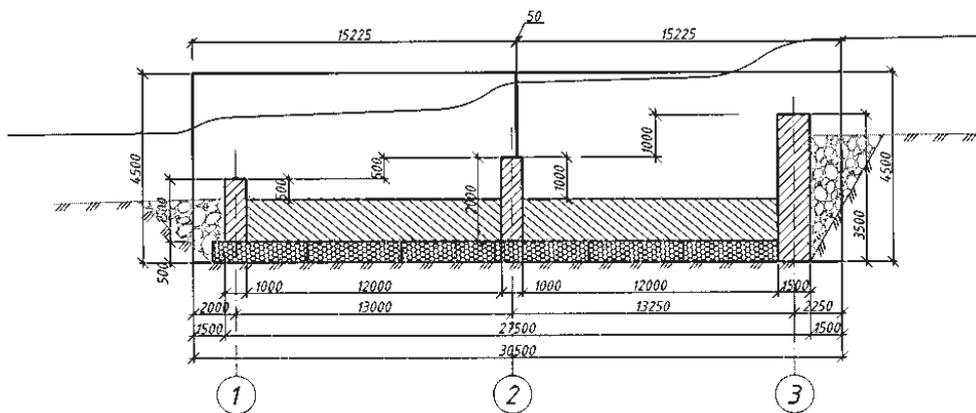


Рис. 1. Конструктивная схема двухступенчатого двухкамерного перепада, план и разрез  
Fig. 1. Design scheme of a two-stage two-chamber drop, plan and section

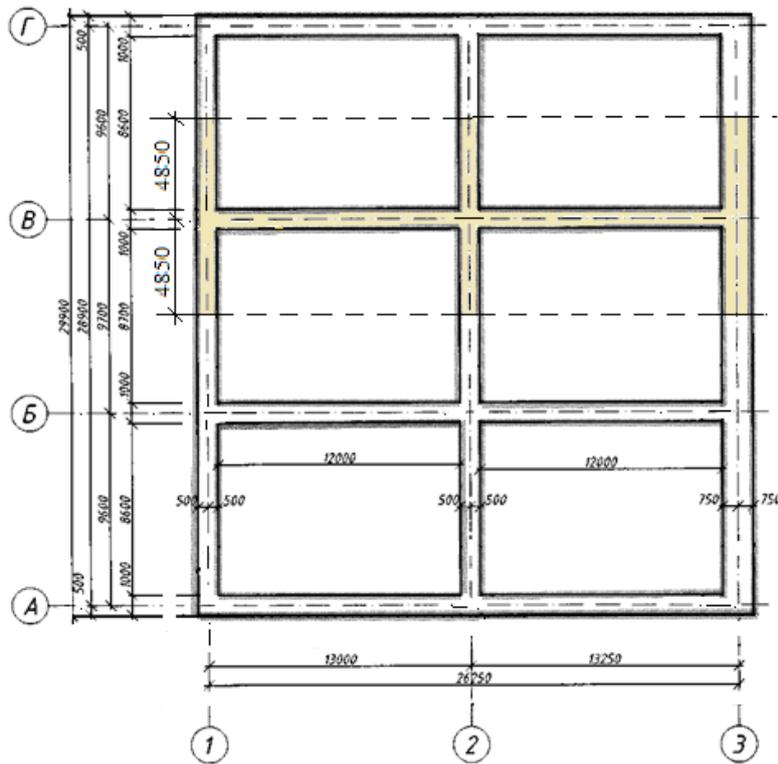


Рис. 2. План монолитного фундамента двухкамерного перепада из перекрестных лент (полос)

Fig. 2. The plan of the monolithic foundation of the two-chamber drop from the cross tapes (strips)

Выбор той или иной модели основания необходимо рассматривать отдельно под каждый расчетный случай в зависимости от принятых конструктивной и расчетной схем сооружения, грунтовых условий, условий нагружения и еще ряда факторов, влияющих на совместную работу конструкции и основания.

Одной из наиболее простых и распространенных в расчетной практике моделей грунтового основания, предназначенной для решения широкого круга задач, является модель винклеровского основания. Эта модель составлена по гипотезе Фусса-Винклера о линейной зависимости между реакцией основания и прогибом балки, равным осадке основания. Реактивное давление (отпор) основания на единицу длины балки определяется по формуле:

$$r = -kbv, \tag{2}$$

где  $v$  – функция прогибов;  $b$  – ширина подошвы балки;  $k$  – коэффициент жесткости упругого основания, называемый коэффициентом податливости основания, или коэффициентом постели ( $\text{Па/м} = \text{Н/м}^3$ ).

Знак минуса означает, что прогиб и реакция основания направлены в разные стороны.

Коэффициент постели определяется экспериментально. Для реальных грунтовых условий значения коэффициента постели устанавливаются весьма условно, поэтому в справочных

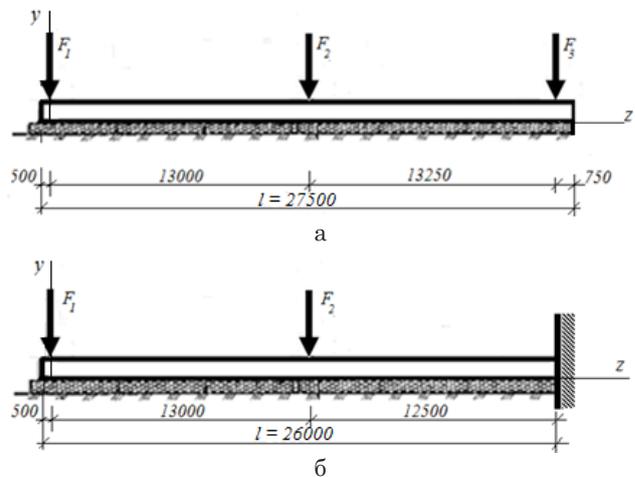


Рис. 3. Варианты расчетной схемы балки на упругом основании

Fig. 3. Options for the design scheme of a beam on an elastic foundation

таблицах для одних и тех же грунтов обычно приводят диапазон возможного изменения коэффициента постели. Например, ориентировочные значения коэффициента постели для некоторых грунтовых оснований приведены в таблице из расчетно-теоретического справочника [8].

Основным недостатком винклеровской расчетной модели является то, что в ней учитывается сопротивление грунта, расположенного непосредственно под штампом (балкой). Как

Таблица. Значения коэффициента постели  $k$  для различных грунтовTable. Values of bed coefficient  $k$  for various soils

№	Материал основания / Material of the foundation	$k_1$ , МПа/м $k_1$ , МПа/м
1	Песок свеженасыпанный / Freshly poured sand Глина мокрая, размягченная / Wet, softened clay	1-5
2	Грунты средней плотности / Medium-density soils: песок слежавшийся / packed sand; гравий насыпной / bulk gravel; глина влажная / wet clay	5-50
3	Грунты плотные / Soils are dense: песок и гравий, плотно слежавшийся / sand and gravel, densely packed; щебень / macadam; глина малой влажности / low moisture clay	50-100
4	Грунты весьма плотные / The soils are very dense: Грунт песчано-глинистый / The soil is sandy-clay, искусственно уплотненный / artificially compacted; глина твердая / clay is hard;	100-200
5	Известняк, песчаник, мерзлота / Limestone, sandstone, permafrost	200-1000
6	Твердая скала / Hard rock	10000-15000

показывают эксперименты, поверхность грунта оседает не только непосредственно под штампом (фундаментом), но и вокруг него.

При достаточно правильном подборе коэффициента постели упругого основания по модели Винклера можно получить удовлетворительное по точности приближенное решение для большинства случаев практических задач.

Результаты и их обсуждение. В расчетной практике также применяют модели, которые позволяют учитывать работу упругого основания за пределами области приложенных нагрузок. Однако расчет балок и других конструктивных элементов с использованием таких моделей является достаточно сложным.

Суммарная интенсивность распределенной нагрузки, приложенной к балке на винклеровском основании, –

$$p(z) = q(z) + r = q(z) - kbv(z), \quad (3)$$

где  $q(z)$  – интенсивность внешней распределенной нагрузки;  $r$  – отпор (реакция) основания.

В таком случае изгиб балки постоянного сечения на упругом основании описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$v^{IV}(z) = p(z) / EJ, \quad (4)$$

где  $EJ = \text{const}$  – жесткость балки при изгибе.

Если в уравнение (4) подставить (3) и ввести обозначение, называемое коэффициентом относительной жесткости основания,

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kb}{4EJ}},$$

то после преобразований можно записать:

$$v^{IV}(z) + 4\beta^4 v(z) = q(z) / EJ. \quad (5)$$

Коэффициент  $\beta$  зависит от жесткости балки  $EJ$  и одновременно от жесткости основания.

Общее решение уравнения (5) можно представить в следующем виде:

$$v = e^{-\beta z} (C_1 \cos \beta z + C_2 \sin \beta z) + e^{\beta z} (C_3 \cos \beta z + C_4 \sin \beta z) + v^*(z), \quad (6)$$

где  $C_1, C_2, C_3$  и  $C_4$  – постоянные интегрирования, которые определяются из граничных условий;  $v^*(z)$  – частное решение, зависящее от нагрузки  $q(z)$ .

При действии на балку только сосредоточенных сил дифференциальное уравнение ее упругой линии становится однородным:

$$v^{IV}(z) + 4\beta^4 v(z) = 0, \quad (7)$$

а в решении (6) нужно принять  $v^*(z) = 0$ .

Балки на упругом основании принято подразделять на группы (категории), обусловленные по длине: жесткие, короткие и длинные (бесконечной и полубесконечной длины). Способ расчета зависит от того, к какой категории балка относится.

Для установления категории балки используют безразмерную величину  $\beta l$ , где  $l$  – длина балки. При  $\beta l \geq 1,5\pi$  балку относят к категории длинных [9].

Расчетная схема балки на упругом основании в рассматриваемой конструкции (рис. 3, вариант а). Принятые исходные данные:

длина балки  $l = 27,5$  м;

коэффициент постели основания  $k = 30$  МПа/м;

модуль упругости материала балки  
 $E = 3 \cdot 10^4$  МПа;

момент инерции поперечного сечения  
 $J = b^4/12 = 1^4/12 = 8,33 \cdot 10^{-2}$  м<sup>4</sup>.

$$\text{Коэффициент } \beta = \sqrt[4]{\frac{kb}{4EJ}} = \\ = \sqrt[4]{\frac{30 \cdot 1}{4 \cdot 3 \cdot 10^4 \cdot 8,33 \cdot 10^{-2}}} = 0,234 \text{ м}^{-1}.$$

Величина  $\beta l = 0,234 \cdot 27,5 = 6,44 > 1,5\pi$ , следовательно, балку можно отнести к категории длинных. По расчетной схеме на балку действует только нагрузка в виде сосредоточенных сил, поэтому для ее расчета используют уравнение (7), а решение представляют как для полубесконечной балки по следующей формуле:

$$v = e^{-\beta z} (C_1 \cos \beta z + C_2 \sin \beta z). \quad (8)$$

Для определения произвольных постоянных интегрирования  $C_1$  и  $C_2$  используют граничные условия. Например, для длинной балки (рис. 3а), нагруженной сосредоточенной силой на краю (в начале координат), можно записать:

$$\text{при } z = 0 \quad M = 0; \quad Q = -F_1.$$

Затем найденное решение задачи при действии одной силы используется в случае действия системы сосредоточенных сил. На основании принципа независимости действия сил окончательный результат получают алгебраическим суммированием результатов от действия каждой силы  $F_i$  в отдельности.

Расчетная схема балки на упругом основании в рассматриваемой конструкции (рис. 3, вариант б). Принятые исходные данные:

длина балки  $l = 26$  м;

коэффициент постели основания  $k = 10$  МПа/м;

модуль упругости материала балки  
 $E = 3 \cdot 10^4$  МПа;

момент инерции поперечного сечения  
 $J = b^4/12 = 1^4/12 = 8,33 \cdot 10^{-2}$  м<sup>4</sup>.

$$\text{Коэффициент } \beta = \sqrt[4]{\frac{kb}{4EJ}} = \\ = \sqrt[4]{\frac{10 \cdot 1}{4 \cdot 3 \cdot 10^4 \cdot 8,33 \cdot 10^{-2}}} = 0,178 \text{ м}^{-1}.$$

Величина  $\beta l = 0,178 \cdot 26 = 4,63 < 1,5\pi$ .

Категория балки – короткая.

Расчет для коротких балок значительно сложнее в связи с тем, что необходимо учитывать условия на обоих концах балки и исходить из общего решения (6), содержащего четыре

произвольные постоянные интегрирования. Аналитическое решение удобнее записать по известному в строительной механике методу начальных параметров.

Постоянные интегрирования  $C_1, C_2, C_3, C_4$  имеют в этом случае определенный смысл и связаны с начальными параметрами:

$$C_1 = v_0; \quad C_2 = \varphi_0; \quad C_3 = -\frac{M_0}{EJ}; \quad C_4 = -\frac{Q_0}{EJ}, \quad (9)$$

где  $v_0, \varphi_0, M_0, Q_0$  – начальные параметры, то есть соответственно прогиб, угол поворота, изгибающий момент и поперечная сила в начальном сечении балки при  $z = 0$ .

Решение однородного уравнения (7) может быть представлено как

$$v = v_0 Y_1(\beta z) + \frac{\varphi_0}{\beta} Y_2(\beta z) - \\ - \frac{M_0}{\beta^2 EJ} Y_3(\beta z) - \frac{Q_0}{\beta^3 EJ} Y_4(\beta z), \quad (10)$$

где через  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4$  обозначены функции академика А.Н. Крылова, который ввел их при расчете корпуса корабля.

Функции  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4$  представляют собой линейные комбинации произведений гиперболических и тригонометрических функций:

$$Y_1(\beta z) = \text{ch}\beta z \cos \beta z;$$

$$Y_2(\beta z) = \frac{1}{2} (\text{ch}\beta z \sin \beta z + \text{sh}\beta z \cos \beta z); \quad (11)$$

$$Y_3(\beta z) = \frac{1}{2} \text{sh}\beta z \sin \beta z;$$

$$Y_4(\beta z) = \frac{1}{4} (\text{ch}\beta z \sin \beta z - \text{sh}\beta z \cos \beta z),$$

где  $\text{sh}\beta z$  и  $\text{ch}\beta z$  – гиперболические функции.

С целью облегчения вычислений при выполнении практических расчетов балок на упругом основании значения этих функций приводятся в таблицах. Обычно два начальных параметра всегда известны, остальные определяются из граничных условий.

Для расчетной схемы балки на рисунке 3б начальные параметры равны (из граничных условий):

при  $z = 0 \quad M_0 = 0, \quad Q_0 = -F_p;$  при  $z = l \quad v_l = 0, \quad \varphi_l = 0.$

Из двух граничных условий на правом конце балки (глухая заделка) составляют два алгебраических уравнения и находят начальные параметры  $v_0$  и  $\varphi_0$ . Затем записывают окончательные выражения для всех компонентов напряженно-деформированного состояния и проверяют условия прочности и жесткости.

Следует отметить, что в аналитических методах решения задач для ленточных фундаментов весьма часто используются таблицы готовых расчетных величин. Такие таблицы приведены в работах М.И. Горбунова-Посадова [10], Б.Н. Жемочкина [11], И.А. Симвулиди [12] и др.

### Выводы

Вышеприведенная методика расчета конструкции двухступенчатого перепада на упругом основании позволяет определить основные параметры его конструктивных элементов для

двух случаев нагружения, обеспечивающих надежность и эффективность работы всего сооружения.

Предлагаемая методика расчета позволяет запроектировать конструкции нового типа двухступенчатого перепада для регулирования предгорных размываемых участков малых рек.

Внедрение данного сооружения обеспечивает снижение материальных затрат на строительство и эксплуатацию более чем на 30% по сравнению с традиционными затратами.

### Список использованных источников

- СП 23.13330.2018. Основания гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85\*. М.: Стандартинформ, 2019. 105 с.
- СП 58.13330.2019. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003. М.: Стандартинформ, 2020. 39 с.
- СП 41.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.06.08-87. М.: Минрегион России, 2012. 72 с.
- СП 20.13330.2016. Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*. М.: Стандартинформ, 2018. 95 с.
- Методическое пособие по проектированию мелиоративных водосбросных сооружений с быстроточно-перепадным типом сопряжения бьефов (док. разработан в развитие СП 100.13330.2016, утв. 01.01.2019 г. ФАУ «ФЦС»). М., 2019. 57 с.
- Пат. 2633788 РФ, МПК E02V3/02. Двухступенчатый перепад комбинированной конструкции / С.О. Курбанов, А.А. Созаев, С.А. Ульбашева; заявл. 19.12.2016; опубл. 18.10.2017. Бюл. № 29.
- Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П.** Сопротивление материалов: учебник. М.: Высшая школа, 2003. 560 с.: ил.
- Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Расчетно-теоретический: В 2 кн. Кн. 1 / Под ред. А.А. Уманского. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1972. 600 с.
- Саргсян А.Е.**, Строительная механика. Основы теории с примерами расчетов / Демченко А.Т., Дворянчиков Н.В., Джинчвелашвили Г.А. М.: Высшая школа, 2000. 416 с.
- Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А.** Расчет конструкций на упругом основании. М.: Стройиздат, 1973. 627 с.
- Жемочкин Б.Н., Синицын А.П.** Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании. М.: Госстройиздат, 1962. 240 с.
- Симвулиди И.А.** Расчет инженерных конструкций на упругом основании. М.: Высшая школа, 1978. 480 с.

### References

- SP 23.13330.2018. The foundations of hydraulic structures. Updated version of SNiP 2.02.02-85\*. Moscow: Standartinform, 2019. 105 p.
- SP 58.13330.2019. Hydraulic structures. The main provisions. Updated edition of SNiP 33-01-2003. Moscow: Standartinform, 2020. 39 p.
- SP 41.13330.2012. Concrete and reinforced concrete structures of hydraulic structures. Updated version of SNiP 2.06.08-87. Moscow: Ministry of Regional Development of Russia, 2012. 72 p.
- SP 20.13330.2016. A set of rules. Loads and impacts. Updated. revision of SNiP 2.01.07-85\*. Moscow: Standartinform, 2018. 95 p.
- Methodological guide for the design of meliorative spillway structures with a high-speed differential type of coupling of streams (doc. developed in the development of SP 100.13330.2016, approved 01.01.2019 by FAA "FTS"). M., 2019. 57p.
- Pat. 2633788 RF, IPC E02V3/02. Two-stage differential of a combined structure / S.O. Kurbanov, A.A. Sozaev, S.A. Ulbasheva; application. 12/19/2016; publ. 18.10.2017. Byul. No. 29.
- Alexandrov A.V., Potapov V.D., Derzhavin B.P.** Resistance of materials. M.: Higher School., 2003. 560 s: ill.
- Handbook of the designer of industrial, residential and public buildings and structures. Computational and theoretical. In 2 books. Book 1. Edited by A.A. Uman'sky. 2nd edition, reprint. and additional M., Stroyizdat, 1972, 600 p.
- Sargsyan A.E.** Construction mechanics. Fundamentals of theory with examples of calculations / Demchenko A.T., Dvoryanchikov N.V., Jinchvelashvili G.A. M.: Higher School, 2000. 416 p.
- Gorbunov-Posadov M.I., Malikova T.A.** Calculation of structures on an elastic base. M.: Stroyizdat, 1973. 627 p.
- Zhemochkin B.N., Sinitsyn A.P.** Practical methods for calculating foundation beams and plates on an elastic base. Moscow: Gosstroyizdat, 1962. 240 p.
- Simvulidi I.A.** Calculation of engineering structures on an elastic base. M.: Higher School, 1978. 480 p.

**Об авторах**

**Мусса Магомедович Хасанов**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Землеустройство и экспертиза недвижимости»; Author ID: 1029986; khasanovmussa@mail.ru

**Ахмед Абдулкеримович Созаев**, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Землеустройство и экспертиза недвижимости»; WoS Researcher ID: AAB-7728-2020; Scopus Author ID: 57219247588; ORCID: 0000-0002-8505-124X; SPIN-код: 8151-1898; AuthorID: 805100; sozaev07@mail.ru

**Салигаджи Омарович Курбанов**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительные конструкции и сооружения»; WoS Researcher ID: AAB-7875-2020; Scopus Author ID: 70062553868; ORCID: 0000-0001-5230-7053; SPIN-код: 2067-1130; Author ID: 361638; 05bereg@rambler.ru

**Алкассир Файез**, аспирант; Author ID: 1192226; faez.alkasir@mail.ru

**Author information**

**Mussa M. Khasanov**, candidate of technical sciences, associate professor; Author ID: 1029986; khasanovmussa@mail.ru

**Akhmed A. Sozaev**, candidate of technical sciences, associate professor; WoS Researcher ID: AAB-7728-2020; Scopus Author ID: 57219247588; ORCID: 0000-0002-8505-124X; SPIN-код: 8151-1898; Author ID: 805100; sozaev07@mail.ru

**Saligadzhi O. Kurbanov**, candidate of technical sciences, associate professor; WoS Researcher ID: AAB-7875-2020; Scopus Author ID: 70062553868; ORCID: 0000-0001-5230-7053; SPIN-код: 2067-1130; Author ID: 361638; 05bereg@rambler.ru

**Alkassir Fayeze**, postgraduate student; Author ID: 1192226; faez.alkasir@mail.ru

**Критерии авторства / Criteria of authorship**

Хасанов М.М., Созаев А.А., Курбанов С.О., Алкассир Файез выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов / Conflict of Interest**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

**Вклад авторов / Authors' contributions**

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации. / All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

**Статья поступила в редакцию / Submitted to the editorial office** 27.10.2023

**Одобрена после рецензирования / Approved after peer review** 10.12.2023

**Принята к публикации / Accepted for publication** 15.12.2023

Khasanov M.M., Sozaev A.A., Kurbanov S.O., Alkassir Fayeze performed theoretical research, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript, have copyright on the article and are responsible for plagiarism.