




RS Global  
Journals

Scholarly Publisher  
RS Global Sp. z O.O.  
ISNI: 0000 0004 8495 2390

Dolna 17, Warsaw, Poland 00-773  
Tel: +48 226 0 227 03  
Email: editorial\_office@rsglobal.pl

---

<b>JOURNAL</b>	Science Review
<b>p-ISSN</b>	2544-9346
<b>e-ISSN</b>	2544-9443
<b>PUBLISHER</b>	RS Global Sp. z O.O., Poland
<b>ARTICLE TITLE</b>	МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАБИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРОЕКТАХ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
<b>AUTHOR(S)</b>	Кульбовский И. И., Кыяшко В. Т., Голуб Г. М., Склярченко И. Ю., Ткачук Н. С. Kulbovskiy I. I., Kyiashko V. T., Holub H. M., Skliarenko I. Yu., Tkachuk N. S. (2020) Methodological Aspects of Researching Gabionic Structures in Transport Construction Projects. Science Review. 6(33). doi: 10.31435/rsglobal_sr/30092020/7189
<b>ARTICLE INFO</b>	
<b>DOI</b>	<a href="https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30092020/7189">https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30092020/7189</a>
<b>RECEIVED</b>	10 July 2020
<b>ACCEPTED</b>	03 September
<b>PUBLISHED</b>	07 September 2020
<b>LICENSE</b>	 This work is licensed under a <b>Creative Commons Attribution 4.0 International License</b> .

---

© The author(s) 2020. This publication is an open access article.

# МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАБИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРОЕКТАХ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

**Кульбовский И. И.**, Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев, Украина, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-5329-3842>

**Кыяшко В. Т.**, Государственная экологическая академия последипломного образования и управления, г. Киев, Украина, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1721-8279>

**Голуб Г. М.**, Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев, Украина, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4028-1025>

**Скляренко И. Ю.**, Государственный университет инфраструктуры и технологий, г. Киев, Украина, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1428-1793>

**Ткачук Н. С.**, Управление РФ «Юго-Западная дорога» АО «Украинская железная дорога», г. Киев, Украина, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9683-4303>

DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_sr/30092020/7189](https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/30092020/7189)

---

## ARTICLE INFO

**Received** 10 July 2020

**Accepted** 03 September 2020

**Published** 07 September 2020

## KEYWORDS

gabions,  
gabion structure,  
method,  
retaining wall,  
system analysis,  
technologies.

## ABSTRACT

The wide and scientifically grounded use of gabion structures was restrained due to the lack of regulatory and methodological foundations and documents for the design and construction of these structures in road and bridge construction, in which technical requirements, design solutions, conditions and scope of gabion were worked out, systematized and formulated designs.

It is very important to have a high-quality methodological and regulatory framework necessary to regulate the use of gabion structures, develop new, improve and expand the current standard solutions for strengthening the slopes of the subgrade, drainage devices and other structures, as well as in order to improve the quality of individual design of road and bridge structures using gabion structures, scientific, methodological and expert support of this design. So, the purpose of the work is to analyze domestic and international experience in the use of gabion structures in the construction industry in order to study calculation methods and technology for the construction of gabion structures. The object of research is gabion structures.

The paper studies the theoretical and technological aspects of the use of gabion structures in road construction.

The domestic and world experience of using gabion structures in the construction industry is analyzed. The advantages of using gabion structures in the development of design and construction solutions for the device and strengthening are considered.

Methods for calculating gabion structures and their analysis are investigated. Due to this, the possibility of calculating gabion retaining walls with a height of more than 8 m was presented. Based on the calculation method, it was concluded that the use of gabion retaining walls of such a height requires lower costs than the devices of concrete and reinforced concrete retaining walls.

---

**Citation:** Kulbovskiy I. I., Kyiashko V. T., Holub H. M., Skliarenko I. Yu., Tkachuk N. S. (2020) Methodological Aspects of Researching Gabionic Structures in Transport Construction Projects. *Science Review*. 6(33). doi: 10.31435/rsglobal\_sr/30092020/7189

---

**Copyright:** © 2020 Kulbovskiy I. I., Kyiashko V. T., Holub H. M., Skliarenko I. Yu., Tkachuk N. S. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

---

**Введение.** Применение габионных конструкций предусмотрено при проектировании нового строительства, реконструкции и защите автомобильных дорог и переходов через

водотоки при их защите от опасных природно-техногенных процессов гидрометеорологического и геологического происхождения.

Применение габионных конструкций целесообразно при разработке проектно-строительных решений по устройству и укреплению:

- откосов земляного полотна, подмостовых конусов, дамб обвалований и регуляционных сооружений;
- берегов водоемов, которые пересекаются, расположенных вдоль, канализированных русел рек и малых водотоков;
- подмостовых русел, которые не размываются;
- руслорегулирующих сооружений и регуляционных сооружений в бассейнах рек с неустойчивым характером русловых процессов;
- входных и выходных русел малых водопропускных сооружений;
- кюветов, водоотводных канав и водогасящих сооружений;
- участков дорог, которые периодически затапливаются и переходов через водотоки;
- водоотводных и водопропускных фильтрующих и очистных сооружений;
- противозерозионных сооружений;
- противоселевых и противооползневых сооружений;
- подпорных стен;
- портовые сооружения;
- сооружений для усиления и стабилизации насыпей земляного полотна, которые эксплуатируются;
- неотложной защиты насыпей, подтопляемых подмостовых конусов, опор мостов и регуляционных сооружений в период проявления опасных разрушительных воздействий паводков.

Для дифференцированного учета восприятия расчетных нагрузок и воздействия, повышение экономической эффективности и надежности функционирования защитных, поддерживающих и тех, которые укрепляют, а также других сооружений предусматривается диверсификация возможностей габионных конструкций в сочетании с другими традиционными типами укреплений и устройств.

Такие комбинированные конструкции в большей степени соответствуют инженерным, экологическим и ландшафтным требованиям.

Габионные конструкции, предназначенные для защиты земляного полотна от опасных геологических процессов (эрозии, паводков, селей, лавин, оползней и т.д.), относятся к поддерживающих и защитных геотехнических и гидротехнических сооружений и конструкций.

Согласно классификации [1], габионные конструкции такого назначения следует рассматривать и классифицировать как один из основных элементов земляного полотна.

В соответствии с требованиями [1,4], а также в связи с отсутствием соответствующих типовых решений, габионные конструкции и сооружения, с ними сочетаются, подлежат индивидуальному проектированию с соответствующими обоснованиями условий их функционирования и обработкой всех конструктивно-технологических решений.

Проектирование защитных, усиливающих, подпорных и удерживающих габионных конструкций и сооружений на оползневых и оползнеопасных участках, а также в районах распространения селей, осыпания камни, лавин, слабых грунтов, почв, проседают и набухают и на участках влияния абразин и речной эрозии следует осуществлять на основе специальных нормативных документов.

При расположении автомобильных дорог на территории что обваливается, габионные конструкции и сооружения следует проектировать с учетом воздействия оросительной системы на водно-тепловой режим земляного полотна, водопропускных, водоотводные и другие дорожно-мостовые сооружения.

Дорожно-мостовые сооружения, проектируемые с применением габионных конструкций не должны ухудшать режим функционирования оросительной системы. Недопустимо использование кюветов, водоотводных и нагорных канав в качестве распределителей воды.

Расстояние между бровкой водосборных и водосбросных каналов оросительной сети и водоотводных дорожных канав (кюветов) должна быть не менее 4,5 м.

Расположение дорожных водоотводящих фильтрующих габионных конструкций должно учитывать особенности гидрографии и условий функционирования оросительной системы, состав и качество воды, и согласовываться с соответствующими органами и организациями.

При разработке проектно-строительных решений по сооружению земляного полотна с применением габионных конструкций и сооружений на косогорах, участках залегания и образования вечномёрзлых грунтов, в районах распространения засоленных грунтов и подвижных песков, на болотах и слабых основаниях следует руководствоваться нормативными требованиями и рекомендациями [1,4] с учетом несущих, защитных, дренирующих и других особенностей и возможностей габионов, а также их сочетание с земляным полотном.

Типы габионных конструкций и сооружений, применяются, должны соответствовать конструктивным особенностям и условиям работы соединенных в едином комплексе с ними дорожно-мостовых сооружений; учитывать свойства почв и возможность использования местных каменных материалов, особенности погодно-климатических и гидрологических факторов; обеспечивать устойчивость всего комплекса сооружений, возможность механизации работ и минимум затрат на строительство и эксплуатацию.

При применении габионных конструкций и сооружений следует разрабатывать альтернативные им варианты традиционных конструкций (сооружений) с учетом инженерно-экономической необходимости, экологических требований, условий и времени выполнения строительных работ по всему комплексу сооружений на конкретном объекте, а также условий и времени эксплуатации данного объекта.

Для повышения эффективности и конкурентоспособности вариантов проектно-строительных решений с применением габионов, необходимо изучить: наличие, условия поставки, дальность транспортировки, состав и свойства местных и привозных каменных материалов, пригодных для использования в габионных конструкциях и сооружениях в тех или иных условиях их применения.

В местных каменных материалов, пригодных для использования в этих конструкциях, сооружениях и устройствах, могут быть отнесены валунные и гравийно-галечниковые отложения в руслах рек и на пойменных массивах.

В габионных конструкциях и сооружениях, которые располагаются в особо опасных и неблагоприятных условиях функционирования, в сложных узлах сопряжения с постоянными дорожно-мостовыми сооружениями, а также на объектах (сооружениях) повышенной степени ответственности, отдают предпочтение использованию каменных материалов твердых пород, прочных во времени и под нагрузкой, морозостойких, устойчивых к истиранию, вылущивание и влияния других факторов.

В этих условиях применения каменных материалов твердых пород могут быть отнесены конструкции и сооружения, которые помимо своего прямого назначения должны обеспечивать: дренирование, погашение энергии водных потоков, восприятия нагрузок, а также цветовую гамму лицевых сторон сооружений, которые строятся.

Сопоставление и выбор оптимальных конструкций и сооружений должны сопровождаться соответствующими технико-экономическими обоснованиями, при разработке которых следует учитывать степень природоохранной целесообразности и эффективности проектно-строительных решений применения габионов и других альтернативных материалов и конструкций.

При оценке природоохранной целесообразности и эффективности применения габионных конструкций и сооружений, а также альтернативных им вариантов, следует руководствоваться нормативными требованиями и положениями [1-2].

При определении критериев вероятности превышения расчетных расходов и уровней воды на участках местности, периодически затапливается паводками; продолжительности подтопления территорий; волновых, ледовых, подпорных и других воздействий; развития эрозийных, русловых и других опасных процессов, а также других условий применения габионных конструкций и сооружений, следует руководствоваться рекомендациями соответствующих нормативных документов.

В качестве расчетного горизонта грунтовых вод следует принимать ее самый высокий многолетний уровень, а на территориях, осваиваются – руководствоваться перспективными

данным органов водного хозяйства, данными других территориальных органов или проектно-изыскательских организаций.

Проектирование габионных конструкций и сооружений должно основываться на материалах инженерных изысканий и результатах гидравлика-гидрологических расчетов, а также на использовании проектных материалов и решений по тем конструктивным элементам дорожного полотна, мостов, регулиционных, малых водопропускных, водоотводных и других дорожно-мостовых сооружений, подлежащих укреплению, усилению, стабилизации, защиты и сочетанию с габионными конструкциями и устройством.

Для проектирования габионных укреплений должны быть использованы материалы и результаты инженерных изысканий, выполненных для всего объекта проектирования. Если они является недостаточная, необходимо предусмотреть проведение дополнительных изыскательских работ.

Состав необходимых изыскательских материалов индивидуальный и должен определяться по каждому объекту (сооружению) конкретно.

При разработке проектно-строительных решений по применению габионных конструкций на мостовых переходах, состав и методы проведения инженерных изысканий, а также выполнение гидравлика-гидрологических расчетов и расчетов русловых деформаций должны определяться в соответствии с требованиями и рекомендациями [3-5].

Проектирование берегозащитных, подпорных, защитных, усиливающих, стабилизирующих габионных конструкций, сооружений и устройств, а также тех, комплексно или индивидуально входят в состав наиболее сложных объектов (включая мостовые переходы), должно осуществляться на основе технических задач.

В технических заданиях на проектирование мостовых переходов с использованием габионных конструкций, сооружений и устройств должна быть предусмотрено требование по необходимости их сообщения и взаимной увязки с проектно-строительными решениями очистных, водоотводных, водосборных, коммуникационных, дорожно-мостовых и других сооружений, а также рекультивации нарушенных земель и других природоохранных мероприятий.

Перенос ранее разработанных на других объектах индивидуальных проектно-строительных решений по габионным конструкциям и сооружениям с одного объекта на другой без выполнения поверочных расчетов, привязки и обоснования применения этих решений к конкретным местным условиям недопустимо, так как это не гарантирует качества проектирование и надежного функционирования объектов, сооружаемых.

#### **Материалы и Методы.**

Анализ возможностей габионных конструкций, в результате которого было установлено, что они в ряде случаев более целесообразны и экономичны, чем традиционные.

Это обусловлено рядом особенностей и характеристик, которыми обладают габионные конструкции. К наиболее важным относятся [4, 5]:

- высокая сопротивляемость нагрузке, прочность каркасно-армирующих элементов и лицевых граней;
- коррозионная стойкость от воздействия воды и атмосферных осадков;
- проницаемость и пористость конструкций, исключают возможность гидростатического нагружения и обеспечивают дренаж обратной засыпки без дополнительных затрат на устройство дренажа и обратного фильтра;
- возможность создания гибких матрасных (тюфячных), цилиндрических, коробчатых и комбинированных конструкций, различных компоновочных решений при практически неограниченных размерах каркасных элементов этих конструкций;
- гибкость и устойчивость, которые позволяют габионным конструкциям без их разрушения пропускать влагу и противостоять оседанию неустойчивого грунта, всплывам и эрозии откосов, их подмыва и некоторым другим факторам, вызывающим ослабление или нарушение местной устойчивости откосов и берегов и других откосная-прибрежных сооружений;
- возможность совмещения с традиционными типами укреплений дорожно-мостовых сооружений и повышение тем самым эффективности и экологичности применения комбинированных конструкций;



- возможность широкого использования местных каменных материалов;
- наиболее высокая и долговечна дренажная способность по сравнению с традиционными строительными материалами, блоками и дренажными устройствами;
- простота конструкций и строительства, не требует квалифицированной рабочей силы;
- минимальные объемы работ по подготовке основания сооружений, строящихся;
- низкие эксплуатационные расходы;
- экологичность, эстетичность восприятия, надежность функционирования, а также долговечность.

Анализируя выше сказанное, сформулируем основные преимущества габионных конструкций:

- Гибкость – эти структуры воспринимают возможные осадки грунта, реагируя на это незначительными прогибами.

- Прочность и устойчивость – основные расчетные нагрузки уже не играют никакой роли и габионные сооружения становятся частью общего ландшафта.

- проницаемость – пористая структура габионов придает сооружению замечательные дренажные свойства. Высокая проницаемость габионных структур исключает возможность возникновения одного из основных факторов нестабильности конструкций – гидростатических нагрузок.

- Длительный срок службы – многолетний опыт применения габионов позволяет относить эти конструкции к классу постоянных, а не временных, то есть эффективность габионных конструкций не уменьшается, а растет с годами.

- Высокие экологические характеристики - габионы аккумулируют частички почвы, пропускающие, способствуют росту растительности, они представляют собой уникальный строительный материал для восстановления и оздоровления ландшафтов.

- Экономичность – конструкции из габионов более экономичны, чем твердые или полутвердые. Меньше удельная стоимость одного погонного метра сооружения. Анализ показывает, что при применении габионов экономия средств составляет от 10% до 50%. Меньше затраты на эксплуатацию и ремонт. Минимальные объемы работ по подготовке фундамента сооружения. Необходимо простое выравнивание поверхности.

- Экологичность – благодаря тому, что габионные конструкции не препятствуют росту растительности и сливаются с окружающей средой, они являются естественными строительными блоками для украшения ландшафта.

Габионные конструкции представляют собой природные строительные блоки, они аккумулируют в себе частицы почвы, способствуют росту растительности, со временем приобретают природного ландшафта и украшают его, безопасны для миграции животных.

Эти особенности и характеристики габионных конструкций обуславливают возможность их более широкого использования на объектах дорожно-мостового строительства.

Габионные конструкции для укрепления откосов, усиления, стабилизации и защиты земляного полотна от опасных природно-техногенных процессов является габионными подпорными стенками с армирующей панелью с металлической сетки между габионами или без нее и их можно отнести к массивным подпорным стенкам гравитационного типа.

Габионные подпорные стенки – предназначены для поддержки земляного откоса или склона при крутизне значительно превышающей угол естественного откоса.

Габионные стены целом анализируются, как гравитационные подпорные стены, то есть, стены, которые сопротивляются боковому земляному давлению за счет собственного веса конструкции. Для увеличения местной устойчивости габионных конструкций могут применяться дополнительные элементы армирования.

Передняя или задняя поверхность стенки могут быть ступенчатого очертания. Проектирование обоих типов габионных стенок основывается на одинаковых принципах. Началом проектирования является определение типовых размеров поперечного сечения стенки [6, 7].

Проектирование выполняется по четырем главным шагам:

1. Определение усилий, действующих на стенку.
2. Расчет устойчивости конструкции против опрокидывания.
3. Расчет устойчивости конструкции против смещения.
4. Проверка несущей способности грунтового основания.

Главными силами, действующими на габионную стенку, являются вертикальные силы от веса габионов и боковое земляное давление, действующее на заднюю поверхность стенки. Эти силы и являются основными при выполнении расчета. Если же встречаются другие силы, действующие на габионную стенку, например подвижную или сейсмическую нагрузку, то они должны быть учтены в расчете.

Активное давление грунта следует определять исходя из условия образования за стенкой клиновидной симметричной призмы обрушения. И определяется по формуле [8-11]:

$$P_a = K_a \cdot w_s \cdot H^2 / 2 \quad (1)$$

где  $w_s$  – насыпная плотность почвы засыпки;

$H$  – высота стенки;

$K_a$  – коэффициент активного давления грунта, может быть определен по таблице.

Наибольшее значение активного давления (сдвигая усилия) грунта при наличии на поверхности засыпки равномерно-распределенной нагрузки  $q$  следует определять при расположении этой нагрузки в пределах всей призмы обрушения. Если нагрузка не имеет фиксированного положения, сдвигающая сила определяется по формуле:

$$P_a = K_a (w_s \cdot H^2 / 2 + qH) \quad (2)$$

Коэффициент активного давления грунта определяется по формуле:

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \beta)}{\cos^2 \beta \cdot \cos(\delta + \beta) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \beta) \cdot \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\delta + \beta) \cdot \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2} \quad (3)$$

где:  $\alpha$  – угол наклона обратной засыпки к горизонту;

$\beta$  – острый угол наклона задней поверхности к вертикали (знак «-» в случае, если угол  $\beta$  наклонен влево от вертикали; знак «+», когда угол  $\beta$  наклонен вправо от вертикали)

$\delta$  – угол трения почвы о стенку;

$\phi$  – угол внутреннего трения грунта.

Горизонтальная составляющая сдвигающего усилия будет определяться по формуле

$$P_h = P_a \cos \beta \quad (4)$$

Вертикальной составляющей обычно пренебрегают при расчетах, так как она уменьшает момент опрокидывания и увеличивает сопротивление сдвигу.

Расчет устойчивости конструкции против опрокидывания.

Активное давление грунта, действующего на заднюю поверхность стенки, пытается ее опрокинуть. Для обеспечения устойчивости габионной стенки это давление должно быть компенсировано моментом, который образуется от собственного веса стенки и других содержащих сил. Используя основные принципы статики, момент берется относительно крайней точки лицевой поверхности стены.

Эта проверка может быть представлена следующим выражением:

$$M_r \geq SF_o \cdot M_o \quad (5)$$

где:  $M_r$  – момент сопротивления переборке;

$M_o$  – опрокидывающий момент;

$SF_o$  – коэффициент надежности против опрокидывания (обычно для массивных габионных стен берется равным 2,0).

Пренебрегая трением стенки, активное давление грунта на стенку берется приложенным на расстоянии  $H/3$  от основания. В случае присутствия дополнительной нагрузки, это расстояние определяется по следующей формуле:

$$d_a = \frac{H(H + 3q / w_s)}{3(H + 2q / w_s)} + B \cdot \sin \beta \quad (6)$$

Исходя из этого опрокидывающий момент будет равным:

$$M_o = d_a \cdot P_h \quad (7)$$

Давление от габионной стенки определяется как сила, приложенная в центре тяжести поперечного сечения габионной стенки. Расстояние по горизонтали до этой точки определяется исходя из статического момента каждого яруса стенки, то есть:

$$d_g = \sum Ax / \sum A \quad (8)$$

Момент сопротивления перебороске-сумма моментов всех содержащих сил определяется по формуле:

$$M_r = \sum d \cdot W \quad (9)$$

где:  $W$  – любое содержащее усилия.

В нашем случае содержащий момент представлен только моментом от веса габионной стенки. И определяется по следующей формуле:

$$M_r = d_g \cdot W_g \quad (10)$$

Устойчивость габионной стенки против сдвига обеспечивается за счет вертикальных содержащих сил и коэффициента трения скольжения  $\mu$ . Расчет представлен следующим выражением:

$$\mu \cdot W_v \geq SF_s \cdot P_h \quad (11)$$

где:  $\mu$  – коэффициент трения скольжения;

$SF_s$  – коэффициент запаса устойчивости против сдвига.

Проверка несущей способности грунтового основания.

Сначала необходимо определить находится результирующая всех вертикальных усилий в пределах средней трети основания. Если ширина основания габионной стенки  $B$ , то эксцентриситет приложения определяется по формуле:

$$e = B/2 - (M_r - M_o)/W_v \quad (12)$$

и должен лежать в следующих пределах:

$$-B/6 \leq e \leq B/6 \quad (13)$$

Максимальное давление на грунтовую основу будет определяться по следующей формуле:

$$P = (W_v / B) \cdot (1 + 6e / B) \quad (14)$$

Полученное максимальное значение этого давления не должно превышать несущей способности грунтового основания. Может быть представлено выражением:

$$P \leq Pb \quad (15)$$

#### Результаты исследования.

На Обновление методики расчетов, которая представлена выше, рассчитаем габионную конструкцию высотой более 8 м [4,6,7,10].

Исходными данными для расчета являются:

Высота габионной стенки –  $H = 9$  м

Ширина основания стенки –  $B = 6$  м

Дополнительное временную нагрузку –  $q = 300$  кг / м

Угол наклона обратной засыпки к горизонту –  $\alpha = 0^\circ$

Угол наклона задней поверхности стенки к вертикали  $\beta = -6^\circ$

Угол внутреннего трения грунта засыпки  $\varphi = 30^\circ$

Насыпная плотность почвы –  $w_s = 1100$  кг / м<sup>3</sup>

Насыпная плотность материала заполнения габиона –  $w_g = 1700$  кг / м<sup>3</sup>

Сопротивление грунта основания –  $P_b = 150$  кПа

Согласно исходных данных значение коэффициента активного давления грунта  $K_a = 0,29$ .



По формуле (2) подсчитываем активный земляной давление с учетом временной нагрузки  $q$ . Выражение будет иметь вид:

$$P_a = K_a(w_s \cdot H^2 / 2 + qH) = 0,29 \cdot (1100 \cdot 9^2 / 2 + 300 \cdot 9) = \\ = 0,29 \cdot (44550 + 2700) = 0,29 \cdot 47250 = 137,03 \text{ кПа}$$

Горизонтальная составляющая активного давления грунта засыпки определяется по формуле (4):

$$P_h = P_a \cos \beta = 137,03 \cdot \cos(-6) = 136,28 \text{ кПа}$$

Вертикальное расстояние от точки приложения активного давления грунта до крайней точки на передней поверхности стенки подсчитывается по формуле (6) и будет:

$$d_a = \frac{H(H + 3q / w_s)}{3(H + 2q / w_s)} + B \cdot \sin \beta = \frac{9(9 + 3 \cdot 300 / 1100)}{3(9 + 2 \cdot 300 / 1100)} + 6 \cdot \sin(-6) = \\ \frac{9 \cdot 9,82}{3 \cdot 9,55} + 6 \cdot (-0,105) = \frac{88,38}{28,65} - 0,62 = 3,08 - 0,62 = 2,46 \text{ м}$$

Опрокидывающий момент рассчитывается по формуле (7) и выражение будет иметь вид:

$$M_o = d_a \cdot P_h = 2,46 \cdot 136,28 = 335,91 \text{ кПа} \cdot \text{м}$$

Для определения момента сопротивления переборке необходимо знать вес габионной стенки и расстояние от центра тяжести этой стенки до крайней ее точки на лицевой поверхности. Вес габионной стенки определяют как, произведение массы заполнителя на площадь боковой поверхности стены и на длину по формуле:

$$W_g = (18 + 13,5 + 9) \cdot 1700 = 40,5 \cdot 1700 = 688,5 \text{ кПа}$$

Расстояние от центра тяжести габионных сооружений до крайней точки на лицевой стороне по формуле (8) будет равной:

$$d_g = [18 \cdot (3 \cdot \cos 6 + 1,5 \cdot \sin 6) + 13,5 \cdot (3,75 \cdot \cos 6 + 4,5 \cdot \sin 6) + 9 \cdot (4,5 \cdot \cos 6 + 7,5 \cdot \sin 6)] / 40,5 = \\ = [18 \cdot (2,98 + 0,16) + 13,5 \cdot (3,73 + 0,47) + 9 \cdot (4,48 + 0,78)] / 40,5 = \\ [18 \cdot 3,14 + 13,5 \cdot 4,21 + 9 \cdot 5,36] / 40,5 = 161,6 / 40,5 = 3,99 \text{ м}$$

Далее по формуле (10) определяем момент сопротивления переборке:

$$M_r = d_g \cdot W_g = 3,99 \cdot 688,5 = 2747,12 \text{ кПа} \cdot \text{м}$$

Запас устойчивости конструкции против опрокидывания определяется как отношение момента опрокидывания до момента сопротивления опрокидывание. Нормативных значение принимается равным не менее 2,0.

$$SF_o = M_r / M_o = 2747,12 / 335,91 = 8,16 > 2,00 - \text{условие выполняется}$$

Запас устойчивости конструкции против сползания определяется отношением произведения коэффициента трения стенки о почвы на ее вес к активному сдвигает чего давления грунта. Коэффициент запаса устойчивости против сдвига должно быть не менее 1,5. И определяется из пропорции (11):

$$SF_s = \mu W_g / P_h = \tan 30 \cdot 688,5 / 136,28 = 2,92 > 1,5 - \text{условие выполняется}$$

Эксцентриситет конструкции определяется по формуле (12):

$$e = B / 2 - (M_r - M_o) / W_v = 6 / 2 - (2747,1 - 335,91) / 688,5 = \\ = 3 - 2411,19 / 688,5 = 3 - 3,50 = -0,50 \text{ м}$$

Далее необходимо проверить попадает ли полученное значение в заданные пределы выражения (11):

$$-B/6 \leq e \leq B/6 = -1 \leq -0,50 \leq 1 - \text{условие выполняется}$$

Определяем максимальное давление на основание под габионовой стеной по формуле (14):

$$P = (W_g / B) \cdot (1 + 6e / B) = (688,5 / 6) \cdot (1 + 6 \cdot (-0,50) / 6) = 57,38 \text{ кПа}$$

Проверяем выполняется ли условие (15):

$$57,38 \text{ кПа} \leq 150 \text{ кПа}$$

### Обсуждение результатов.

Проектирование габионных подпорных стенок включает конструирование (назначение геометрических размеров стенки и габионов, количества габионов и т.д.) и расчеты их по двум группам предельных состояний. Геометрические размеры, которые назначены на этапе конструирования, уточняют последующими расчетами [10-11].

Расчет по первой группе предельных состояний (по потере несущей способности, включая полную потерю устойчивости или значительные повреждения) предусматривает выполнение расчетов на:

- общую устойчивость (внешняя устойчивость) – устойчивость откоса насыпи вместе с сооружением; устойчивость стенки против сдвига по основе; устойчивость стенки против опрокидывания; прочность грунтового основания;

- внутреннюю устойчивость: смещение габионов один по другому; разрыв каркаса габионов.

Расчет по второй группе предельных состояний (непригодность к нормальной эксплуатации) включает проверку на допустимые деформации при эксплуатации сооружения.

Рассмотрены предельные состояния, в основном, относятся к эксплуатационному периоду работы подпорной стенки.

Задача расчета подпорной стенки заключается в том, чтобы ни один из предельных состояний не явился в период эксплуатации стенки.

Исходя из предельных состояний подпорных стенок и их оснований должны быть выполнены следующие расчеты: устойчивости подпорной стенки (вместе с фундаментом и без него) против сдвига по поверхности основания и против опрокидывания; прочности грунта основания; прочности конструкции подпорной стенки; деформации грунта основания; стойкости элементов конструкции к трещинам.

Расчеты на устойчивость и прочность выполняют с помощью расчетных нагрузок, а расчеты на деформацию – по нормативным нагрузкам. Расчет на стойкость к трещинам (в данном случае смещение габионов один по-другому) выполняют по нормативным или расчетным нагрузкам в зависимости от характера воздействия трещин (смещения) условия эксплуатации подпорной стенки [11].

Во всех случаях расчеты выполняют для наиболее неблагоприятных сочетаний нагрузок и должны охватывать различные периоды работы подпорной стенки – эксплуатационный, строительный, ремонтный и др.

Одним из основных нагрузок, действующих на подпорную стенку, которое определяет размеры ее профиля – есть давление грунта.

Расчет подпорных стенок на скальной основе выполняют на действие активного давления грунта, то есть на давление, соответствующее предельному состоянию равновесия, когда подпорная стенка сделала незначительное перемещение в сторону направления от засыпки. При этом считается, что такое перемещение будет обеспечено за счет деформации основания.

Подпорные стенки на скальном основании, а также стенки жестких подземных сооружений, на которые действует боковое давление грунта с обеих сторон, должны быть рассчитаны на действие постоянного давления в состоянии покоя.

Оценивают устойчивость откосов насыпей в отдельных ее пересечениях как для полной высоты откоса (общая устойчивость), так и для отдельных частей откосов (местная устойчивость).

### **Выводы.**

Многолетний опыт показывает, что габионные конструкции всегда были и остаются альтернативным вариантом укрепления не только откосов, подтопляемых, но и дорожно-мостовых откосов, не подтопляемых.

Применение габионных подпорно-содержащих и подпорно-защитных стенок при реконструкции и новом строительстве участков автомобильных дорог с высотой более 8-12 м является в ряде случаев более экономным мероприятием, чем устройства бетонных и железобетонных подпорных стенок.

Габионные конструкции является альтернативным вариантом по устройству подпорно-содержащих и подпорно-защитных сооружений и позволяют расширить диапазон индивидуальных решений, а также заполнить пробел в соответствующих типовых решениях конструкций земляного полотна и укрепление его откосов

Применение габионных конструкций является одним из высокоэффективных и универсальных способов не только укрепления откосов, но и усиление, стабилизации и защиты земляного полотна, находящегося в эксплуатации, а также подмостовых конусов, опор мостов, регуляционных дамб, береговых и других сооружений.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. – К.: Мінрегіонбуд України, 2016. – 102 с.
2. Браславский В.Д., Львович Ю.М., Грицюк Л.В. и др. Противооползневые конструкции на автомобильных дорогах. – М.: Транспорт, 1985. – 301 с.
3. Заворицкий В.И., Старовойда В.П., Билятинский А.А. и др. Проектирование и строительство автомобильных дорог: Справочник / под ред. В.И. Заворицкого. – К.: Техника, 1996. – 383 с.
4. Перевозников Б.Ф., Селиверстов В.Л. (2001). Дорожно-мостовые габионные конструкции и сооружения. Обзорная информация. – Информавтодор. – 96с.
5. Перевозников Б.Ф. Откосно-прибрежные укрепления автомобильных дорог. – М.: 1993. – 78 с. (ОИ / Информавтодор, вып. 5. Автомобильные дороги).
6. Шевченко К. И. Габионы – надежная защита грунтов от эрозии / Гидротехническое строительство. – 1996. - № 11. – С. 33 – 37.
7. Шевченко К. И. Технично-економическе обоснование применения габионных структур для целей инженерной защиты территорий / Московское представительство итальянской фирмы «Оффичине Маккафери». – М., 1996. – 64 с.
8. Кульбовський І.І. Близнюк К.П., Усиченко О.Ю. (2013). Конструювання армогрунтових підпірних конструкцій в проектах транспортного будівництва. *Зб. наук. пр. «Транспортні системи і технології»*. №23. С. 43-48.
9. Officine Maccaferri S.p.A. Gabions Terramesh system. Labanti & Nanni, Bologna / Italy, 1994.
10. Officine Maccaferri S.p.A. R. Agostini, F. Ferrario, A. Papetti. Flexible gabion and Reno mattress structure in river and stream training work. Section two. Labanti & Nanni, Bologna / Italy, 1989.
11. Савенко В.Я., Каськів В.І., Каськів С.В. (2017). Розроблення норм на габионні конструкції. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. № 6. С.205-212.