

Н.С. СОКОЛОВ, канд. техн. наук (ns\_sokolov@mail.ru), Ф.Л. ПАВЛОВ, инженер-проектировщик

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова  
(428015, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский пр., 15).

## Использование слабых оснований при строительстве магистральных дорог

Статья посвящена проблеме освоения новых экономически непривлекательных территорий для строительства дорог. Часто такие районы имеют особенности в виде слабых оснований, которые начинают застраивать. Обеспечение надежности и долговечности оснований насыпей городских магистральных дорог является важной геотехнической задачей. Для обеспечения бесперебойного движения городского транспорта актуальны вопросы увеличения их несущей способности и устойчивости. Для этого можно применить современные способы армирования грунтовой насыпи, усиления основания свайным полем железобетонных свай, щебеночными сваями. Каждый из методов увеличивает либо устойчивость, либо несущую способность, поэтому целесообразнее на основе технико-экономического анализа применять комбинированные методы, дающие выигрыш сразу по нескольким позициям. На основе проведенных исследований сделан вывод о рациональности комбинирования щебеночных свай с армонасыпью, за счет чего появляется возможность использования менее прочного геотекстиля или увеличения шага армирования. Этот способ наиболее экономичен. Другой комбинированный вариант – применение армонасыпи совместно с бетонными сваями. Он менее привлекателен из-за высокой стоимости устройства свайного поля.

**Ключевые слова:** городские магистральные дороги, свайное поле, гесинтетические материалы, тканый геотекстиль, геосетка, армонасыпь, щебеночные сваи.

**Для цитирования:** Соколов Н.С., Павлов Ф.Л. Использование слабых оснований при строительстве магистральных дорог // *Строительные материалы*. 2019. № 11. С. 45–49. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-776-11-45-49>

N.S. SOKOLOV, Candidate of Sciences (Engineering), (ns\_sokolov@mail.ru), F.L. PAVLOV, Engineer-Designer  
Chuvash State University named after I.N. Ulianov (15, Moskovsky Prospekt, Cheboksary, Chuvash Republic, 428015, Russian Federation)

### The Use of Weak Bases When Constructing Main Roads

The article is devoted to the problem of development of new economically unattractive territories for road construction. Often such areas have features in the form of weak bases that begin to build up. Ensuring the reliability and durability of the foundations of embankments of urban trunk roads is an important geotechnical task. To ensure the uninterrupted movement of urban transport, the issues of increasing their carrying capacity and stability are relevant. For this purpose it is possible to apply modern methods of reinforcement of a soil embankment, strengthening of the basis by a pile field of reinforced concrete piles, crushed stone piles. Each of the methods increases either stability or load-bearing capacity, so it is more expedient on the basis of technical and economic analysis to apply combined methods that give a win on several positions at once. On the basis of the research conducted, the conclusion is made about the rationality of a combination of gravel piles with reinforced embankment, whereby it is possible to use less robust geotextiles or increase the spacing of the reinforcement. This method is the most economical. Another combined option is the use of reinforced embankment together with concrete piles. This option is less attractive because of the high cost of the pile field arrangement.

**Keywords:** urban main roads, pile field, geosynthetic materials, woven geotextile, geogrid, reinforced embankment, crushed stone piles.

**For citation:** Sokolov N.S., Pavlov F.L. The use of weak bases when constructing main roads. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 11, pp. 45–49. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-776-11-45-49>

В связи с увеличением объемов строительства и освоением новых территорий вновь становятся актуальными задачи, которые раньше старались обходить стороной. В активно развивающихся городах застраиваются новые микрорайоны. Зачастую остаются лишь участки, где в основании залегают слабые или просадочные грунты [1–8]. Приходится вести строительство на оврагах, которые были засыпаны мощным слоем различных техногенных грунтов, не отличающихся высокой несущей способностью [9–15].

Новые микрорайоны нуждаются в транспортных коммуникациях с центром и другими жилыми районами городов. Магистральные дороги как раз и выполняют эту функцию. Основной проблемой при строительстве инженерных сооружений в сложных инженерно-геологических условиях является обеспечение прочности, устойчивости оснований, а также предельно допустимых величин осадок.

Для наглядности и конкретизации рассмотрим один из разрабатываемых проектов «Строительство автомобильной дороги по ул. Николая Рождественского в г. Чебоксары». Рассматриваемый участок представляет собой техногенно-измененную строительной деятельностью территорию в результате полной или частичной засыпки оврагов, прокладки ливневой и дренажной канализации. Рельеф проектируемой дороги также очень сложный, со значительными перепадами абсолютных отметок от 95,4 до 107,1 м по днищам оврагов и 108,6–105,1 м по аккумулятивно-денудационной поверхности. Также на данном участке наблюдаются опасные инженерно-геологические процессы в виде: оползневых процессов по бортам оврагов; суффозий с образованием локальных провалов; овражной эрозии; самоуплотнения неуплотненных прослоев в насыпных грунтах; техногенного подтопления застра-

Конструкция дорожной одежды

Наименование слоя	Материал слоя	Толщина слоя, м
Верхний слой покрытия	Горячий плотный мелкозернистый асфальтобетон типа Б марки I	0,05
Нижний слой покрытия	Горячий пористый крупнозернистый асфальтобетон марки II	0,07
Верхний слой основания	Черный щебень	0,3
Нижний слой основания	Фракционный щебень (фр. 40–70) М800 с расклинцовкой мелким щебнем (фр. 10–20)	0,3
Технологическая прослойка	Геотекстильный материал «Дорнит»	–
Дополнительный слой основания	Песок мелкий с $K_{\phi} > 1$ м/сут	0,5
Уплотненный грунт основания		
<b>Примечание.</b> Суммарная толщина конструктивных слоев дорожной одежды составляет 1,22 м.		

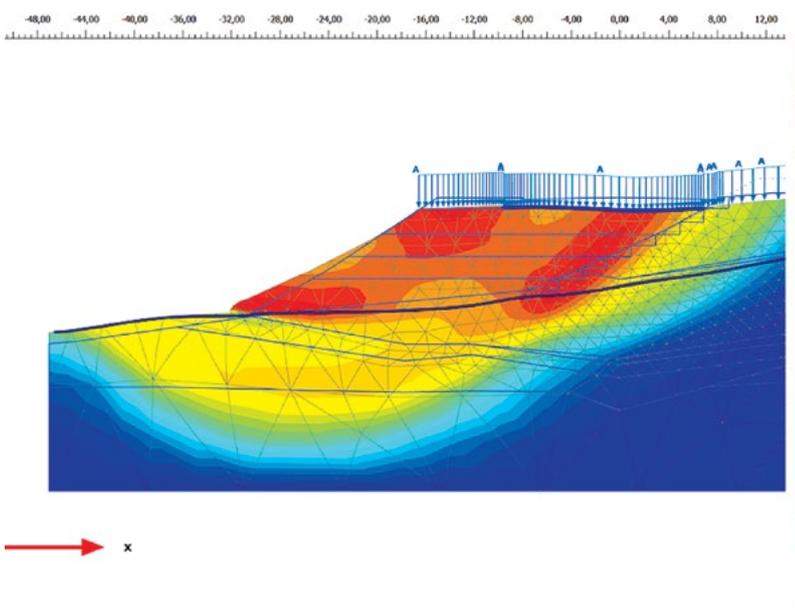


Рис. 1. Эпюры горизонтальных деформаций основания насыпи на косогоре

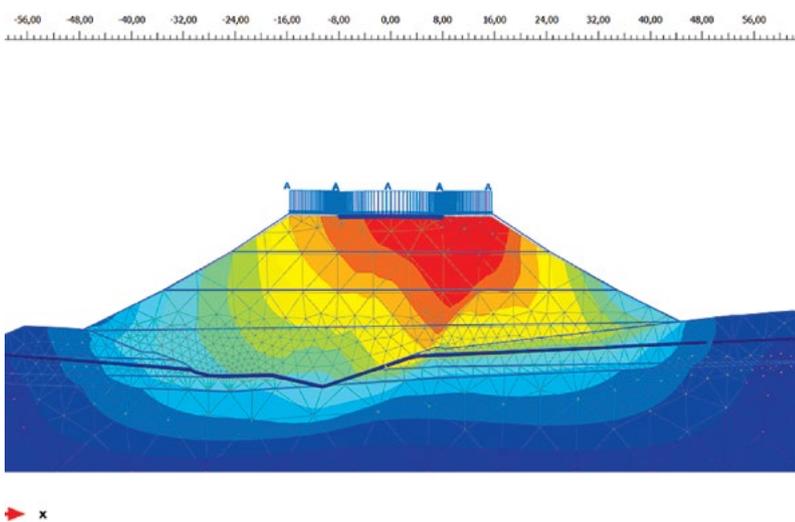


Рис. 2. Суммарная деформация высокой насыпи

иваемых участков; ползучести насыпных грунтов; просадочности грунтов при замачивании.

Характеристики автомобильной дороги: категория дороги – магистральная дорога районного значения с пешеходными тротуарами, тип дорожной одежды – капитальный по СП 34.13330.2014 «Автомобильные дороги» (Актуализированная редакция СНиП 2.05.02–85\*), ширина проезжей части 16 м (до 23 м на съездах); ширина земляного полотна поверху от 27 до 35 м; максимальная высота насыпи до 23,4 м по оси и 27 м до низа откоса; заложение откосов: -1:1,5 (до 6 м от верха); -1:1,75 (до 12 м от верха); -1:2 (до 18 м от верха); -1:2,5 (более 18 м от верха) согласно СП 78.13330.2012.

Численный анализ деформаций и устойчивости насыпи выполнен при помощи программного комплекса геотехнических расчетов PLAXIS 2D по методу конечных элементов (далее – МКЭ).

Применение численных методов расчета (МКЭ) регламентируется такими документами, как: СП 16.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения» (Актуализированная редакция СНиП 22-02–2003) и ОДМ 218.2.006–2010 «Рекомендации по расчету устойчивости оползнеопасных склонов (откосов) и определению оползневых давлений на инженерные сооружения автомобильных дорог».

При создании геометрической модели грунтовый массив разбивается на сеть шести узловых треугольных изопараметрических конечных элементов (КЭ), в которых перемещения определяются во всех узлах, а напряжения (вычисляются по методу К. Терцаги) в трех точках.

Транспортная нагрузка, учитываемая в расчетах устойчивости насыпи  $45 \text{ кН/м}^2$ , принята по ГОСТ Р 52748–2007 «Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения», равномерно распределена по ширине проезжей части. Согласно п. 4.3.2 ГОСТ 32960–2014 «Автомобильные дороги общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения» при расчетах осадки насыпи в качестве временной подвижной нагрузки следует принимать нагрузку АК, приведенную к эквивалентной равномерно распределенной нагрузке  $q_{AK}$  интенсивностью, кПа:

$$qAK = (7,4 \cdot n / ВЗП) \cdot K = 13,36,$$

где  $n$  – число полос движения; ВЗП – ширина земляного полотна поверху, м;  $K$  – класс нагрузки АК.

Рельеф Чувашской Республики сильно изрезан оврагами в связи с непрекращающимися эрозионными процессами. В связи с этим в республике огромный недостаток грунта для строительства и возведения насыпей, поэтому чаще всего для отсыпки насыпей применяют песок, который в огромных количествах добывают на берегах р. Волги. Отсыпка насыпей переменной высоты (от 0 до 23 м) представляет собой сложный и длительный процесс. Отсыпку нужно произвести послойно с уплотнением каждого слоя. Также нужно учесть доуплотнение и деформации нижних слоев от увеличивающейся нагрузки самой насыпи. Период консолидации этой насыпи, по расчетам, может составить до одного года, что недопустимо долго для данного объекта в связи с необходимостью скорейшего ввода его в эксплуатацию. Также невозможно в период консолидации добиться полных осадок и деформаций насыпи. Полезная нагрузка от проезжающего транспорта является динамической, и ее практически невозможно предугадать в период строительства. На рис. 1 и 2 показана расчетная деформация насыпи в результате загрузки.

Укрепление насыпи полуобоймами предусматривает армирование земляного полотна с помощью геосинтетических материалов (тканого геотекстиля, геосетки, плоской георешетки и их композиций) с максимальной нагрузкой на растяжение не менее 30 кН/м. Армируя насыпь слоями композиционных материалов различного вида и уплотненным грунтом, мы получаем армогрунт. На рис. 3 приведена схема послойного армирования, поперечный профиль построен в программном комплексе IndorCad, который позволяет закладывать и высчитывать объем требуемого материала на возведение данной конструкции.

Такая конструкция значительно эффективнее воспринимает нагрузки от собственного веса, проезжающего транспорта и пешеходов, равномерно распределяя его по всему телу насыпи.

Увеличить скорость консолидации и повысить устойчивость и несущую способность основания насыпи из мелкозернистого песка возможно, применяя современные рулонные геосинтетические материа-

лы. Устойчивость насыпи достигается укладкой материала в виде обойм или полуобойм с заворотами на 3 м. В результате получают армированные слои, работающие на поперечное растяжение. Прочность материала на разрыв применяется от 300 в верхних слоях до 600 кН/м в нижних слоях насыпи.

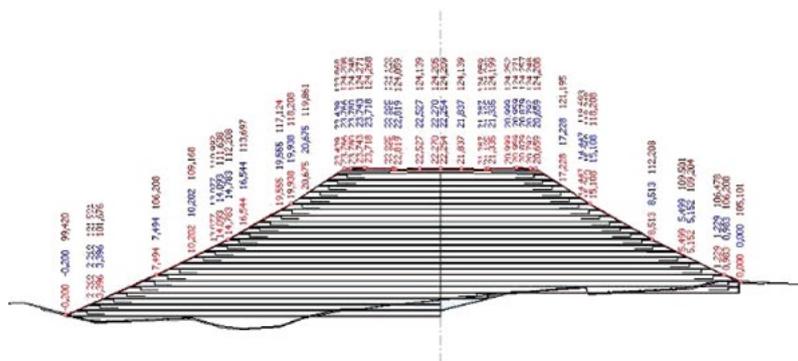


Рис. 3. Армонасыпь



Рис. 4. Модель расчетной осадки армонасыпи и грунтового основания с щебеночными сваями в виде сети КЭ

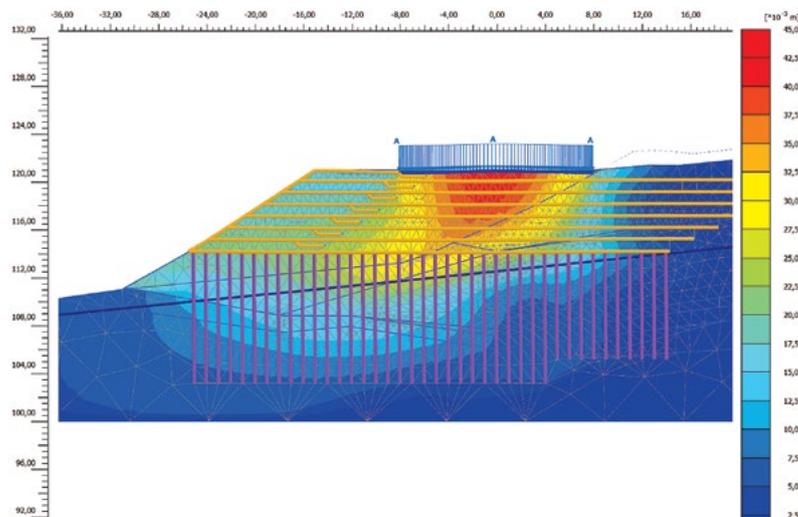


Рис. 5. Суммарная осадка армонасыпи с бетонными сваями в виде изополей двумерных деформаций на этапе эксплуатации (мм)

Замена слабого слоя в основании также является хорошим способом увеличения устойчивости насыпи. Но в условиях уже существующей застройки применение этой геотехнической технологии не всегда возможно. При этом практически невозможно разработать котлованов открытым способом. Применение дренирующих свай позволяет отвести излишек влаги из переувлажненного основания насыпи. Однако при выполнении таких работ необходимо не забывать о геотехническом мониторинге зоны влияния от строительных работ и учесть наличие близко расположенных зданий. Известно, что неравномерное понижение уровня грунтовых вод может привести к неравномерным деформациям их фундаментов.

Применение щебеночных свай рационально комбинировать с армонасыпью (рис. 4), за счет чего появляется возможность использования менее прочно-

го геотекстиля, или увеличить шаг армирования, за счет чего достигается экономия.

Еще одним комбинированным вариантом может являться вариант применения армонасыпи совместно с бетонными сваями (рис. 5), однако ввиду высокой дороговизны устройства свайного поля данный способ наименее привлекательный с экономической точки зрения.

### Выводы

Современные геотехнические методы позволяют производить строительство крупных и ответственных сооружений на слабых основаниях с минимальными осадками после ввода в эксплуатацию объекта.

Наиболее предпочтительный вариант для каждого отдельного участка стоит выбирать на основе технико-экономического обоснования и задач, которые должна выполнять эта конструкция.

### Список литературы

1. Ильичев В.А., Мангушев Р.А., Никифорова Н.С. Опыт освоения подземного пространства российских мегаполисов // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2012. № 2. С. 17–20.
2. Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. СПб.: Геореконструкция, 2010. 551 с.
3. Тер-Мартirosян З.Г. Механика грунтов. М.: АСВ, 2009. 50 с.
4. Шулятьев О.А., Минаков Д.К. Технологические осадки при устройстве стены в грунте траншейного типа // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. 2017. № 3 (8). С. 41–50.
5. Мангушев Р.А., Гурский А.В. Оценка влияния вдавливания шпунта на дополнительные осадки соседних зданий // *Геотехника*. 2016. № 2. С. 2–7.
6. Мангушев Р.А., Сапин Д.А. Учет жесткости конструкций «стена в грунте» на осадку соседних зданий // *Жилищное строительство*. 2015. № 9. С. 3–7.
7. Мангушев Р.А., Конюшков В.В., Кондратьева Л.Н., Кириллов В.М. Методика расчета технологической осадки основания фундаментов зданий соседней застройки при устройстве котлованов // *Жилищное строительство*. 2019. № 9. С. 3–10. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-9-3-10>
8. Тер-Мартirosян З.Г., Тер-Мартirosян А.З., Соболев Е.С. Анализ данных геотехнического мониторинга плитных фундаментов большой площади // *Геотехника*. 2012. № 4. С. 28–34.
9. Мангушев Р.А., Никифорова Н.С., Конюшков В.В., Осокин А.И. Проектирование и устройство подземных сооружений в открытых котлованах. М.: АСВ, 2013. 256 с.

### References

1. Ilyichev V.A., Mangushev R.A., Nikiforova N.S. Experience in the development of the underground space of Russian megacities. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*. 2012. No. 2, pp. 17–20. (In Russian).
2. Ulitsky V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. Geotekhnicheskoe soprovozhdenie razvitiya gorodov [Geotechnical maintenance of development of the cities]. Saint Petersburg: Georekonstruktsia. 2010. 551 p.
3. Ter-Martirosyan Z. G. *Mekhanika gruntov* [Mechanics of soil]. M.: ASV. 2009. 550 p.
4. Shulyat'ev O.A., Minakov D.K. Technological precipitation device for diaphragm wall trench type. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2017. No. 3 (8), pp. 41–50. (In Russian).
5. Mangushev R. A., Gurski A.V. Assessment of the impact of sheet pile indentation on additional precipitation of neighboring buildings. *Geotechnica*. 2016. No. 2, pp. 2–7. (In Russian).
6. Mangushev R. A., Sapin D.A. Taking into account the rigidity of the “wall in the ground” on the draft of neighboring buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 9, pp. 3–7. (In Russian).
7. Mangushev R.A., Konyushkov V.V., Kondratjeva L.N., Kirillov V.M. Method of calculation of technological settlement of buildings foundations of adjacent development when excavating pits. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 9, pp. 3–10. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-9-3-10>
8. Ter-Martirosyan Z.G., Ter-Martirosyan A.Z., Sobolev E.S. Analysis of data of geotechnical monitoring of the slabby bases of the big area. *Geotekhnika*. 2012. No. 4, pp. 28–34. (In Russian).
9. Mangushev R.A., Nikiforova N.S., Konyushkov V.V., Osokin A.I. *Proektirovanie i ustroystvo podzemnykh sooruzhenii v otkrytykh kotlovanakh* [Designing and the device of underground constructions in open ditches]. Moscow: ASV. 2013. 256 p.

10. Готман А.Л., Шеменков Ю.М. Исследование работы фундаментов в вытрамбованных котлованах на вертикальную нагрузку и их расчет // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. 2015. № 3. С. 23–40.
10. Gotman A.L., Shemenkov Yu.M. Investigation of foundations behavior in tamped pits under the vertical load and their analysis. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2015. No. 3, pp. 23–40. (In Russian).
11. Жусупбеков А.Ж., Чанг Дер-Вен, Утепов Елбек, Борбекова Карлыгаш, Омаров А.Р. Оценка несущей способности забивных свай // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2019. № 2. С. 26.
11. Zhusupbekov A.ZH., Chang Der-Ven, Uteпов Yelbek, Borbekova Karlygash. Omarov A.R. Assessment of the bearing capacity of driven piles. *Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov*. 2019. No. 2, p. 26. (In Russian).
12. Соколов Н.С. Электроимпульсная установка для изготовления буринъекционных свай // *Жилищное строительство*. 2018. № 1–2. С. 62–66.
12. Sokolov N.S. Electroimpulse Installation For The Production Of Flight Augering Piles. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 1–2, pp. 62–66. (In Russian).
13. Соколов Н.С. Критерии экономической эффективности использования буровых свай // *Жилищное строительство*. 2017. № 5. С. 34–38.
13. Sokolov N.S. Criteria of economic efficiency of use of drilled piles. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 5, pp. 34–38. (In Russian).
14. Соколов Н.С. Технология увеличения несущей способности основания // *Строительные материалы*. 2019. № 6. С. 67–71. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-771-6-67-71>
14. Sokolov N.S. Technology for increasing the bearing capacity of the base. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 6, pp. 67–71. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-771-6-67-71>
15. Соколов Н.С. Геотехническая технология предотвращения подтопления равнинных территорий при половодье // *Жилищное строительство*. 2019. № 9. С. 43–47. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-9-43-47>
15. Sokolov N.S. Geotechnical technology for preventing inundation of plain territories. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 9, pp. 43–47. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-9-43-47>

Институт строительных материалов им. Ф.А. Фингера (FIB)  
 Университета Bauhaus-Universität г. Веймар (Германия)



организует IV Веймарскую конференцию по гипсу

## Гипс в строительстве, и не только



Гипсовая конференция проводится в Веймаре в четвертый раз и за это время стала площадкой для широкого научного обмена идеями в области вяжущих на основе сульфата кальция и их применения учеными и инженерами стран востока и запада

г. Веймар (Германия)

1–2 апреля 2020 г.

### Основные темы конференции:

- Вяжущие вещества на основе сульфата кальция
- Вяжущие вещества, содержащие сульфат кальция
- Гидратация и переработка
- Добавки и их эффект
- Стройматериалы и изделия на основе сульфата кальция
- Сульфаты кальция и сохранение исторического наследия
- Изделия на основе сульфата кальция и их безотказное длительное использование
- Другие виды применения сульфата кальция



Заявки на участие в конференции с докладами принимаются **до 15 октября 2019 г.**  
 Планируется синхронный перевод: немецкий, английский, русский.

[www.weimarer-gipstagung.de](http://www.weimarer-gipstagung.de)

[gipstagung@uni-weimar.de](mailto:gipstagung@uni-weimar.de)