

## Минераловатные изделия с упрочненным наружным слоем для скатной кровли

*С.О. Артеменко, Б.А. Ефимов*

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.*

**Аннотация:** Скатные кровли — это достаточно сложные конструкции и инженерные системы, играющие важную роль в обеспечении штатного функционирования зданий. Температурные и влажностные воздействия на теплоизоляционный слой, а также динамическая нагрузка от воздуха, перемещающегося в вентилируемом зазоре, создают значительные нагрузки на теплоизоляцию и обуславливают снижение её эксплуатационных характеристик.

Целью исследований, изложенных в статье, была оценка влияния нагрузок различного типа на целостность изоляционной оболочки и разработка предложений по повышению эксплуатационной стойкости лёгких минераловатных плит.

Результатом исследований стала разработка минераловатных изделий с упрочненным наружным слоем теплопроводностью 0,036-0,037 Вт/(м·К); средней плотностью не более 36 кг/м<sup>3</sup>; сжимаемостью 24-20 %; паропроницаемостью около 0,30 мг/(м·ч·Па). Применение в качестве усиливающего слоя стеклосетки, закрепленной на минераловатной плите с одной стороны не препятствует массообмену с вентилируемым зазором, а с другой стороны значительно снижает эрозию плит основания и повышает сохранение целостности плит на наклонных поверхностях. Эксплуатационная стойкость изоляционной оболочки повышается по сравнению с легкими плитами на основе каменной ваты в 1,7 раза и по сравнению с плитами из стекловаты — в 2,4 раза.

**Ключевые слова:** минераловатная плита, теплоизоляционный материал, каменная вата, стекловата, эрозия изделия, температурное воздействие, влажностное воздействие, воздушный поток, эксплуатационная стойкость, энергоэффективность.

### Введение

Скатная кровля, особенно кровля с металлическим покрытием является сложной конструкцией, теплоизоляция которой воспринимает комплексную нагрузку, обусловленную температурным и влажностным воздействием, а также динамическими нагрузками, возникающими при движении воздуха в вентилируемом зазоре (рис. 1). Так как теплоизоляцию укладывают между стропилами и непосредственно сжимающие механические нагрузки отсутствуют, то в данной системе используют легкие минераловатные плиты плотностью не более 70 кг/м<sup>3</sup>. Подобные плиты изготавливают с применением синтетического связующего: на основе фенольных или

---

карбамидных смол, а также модифицированного эпоксидного вяжущего [1-3]. К достоинствам этих изделий относят низкую среднюю плотность и низкую теплопроводность в сухом состоянии или в состоянии равновесной влажности [4-6]. Мягкие плиты также используют для утепления каркасных конструкций стен малоэтажных зданий [7-9].

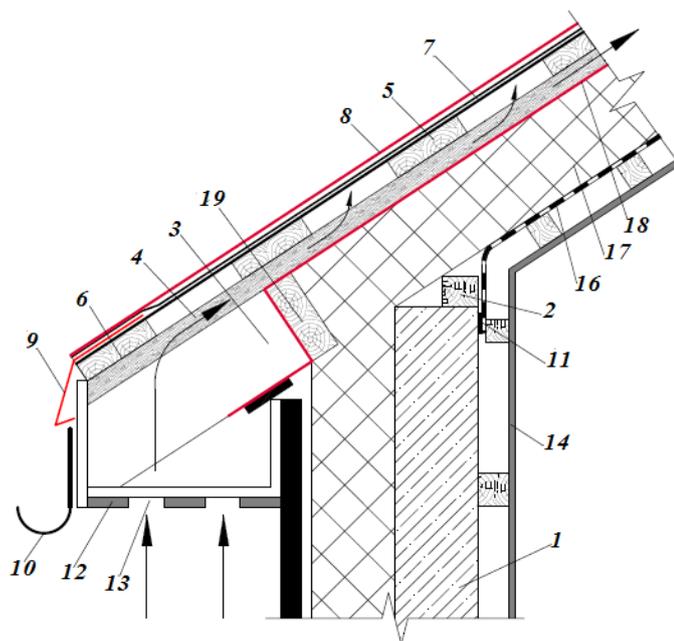


Рис. 1. – Принципиальная схема скатной кровли: 1 – наружная стена; 2 – мауэрлат; 3 – стропильная нога; 4 – контробрешетка; 5 – разреженная обрешетка; 6 – основание; 7 – подкладочный ковер; 8 – кровельное покрытие; 9 – планка карнизная; 10 – водосточная система; 10 – крюк водостока; 11 – гидроизоляция; 12 – сайдинг; 13 – вентиляционные отверстия; 14 – гипсокартон; 15 – контрутепление; 16 – пароизоляция; 17 – утеплитель; 18 – ветрозащита; 19 – фиксирующая утеплитель доска

Использование легких плит позволяет снизить материалоемкость изоляционного слоя (а следовательно, и затраты на 1 м<sup>2</sup>), получить стабильное термическое сопротивление изоляционной оболочки [10, 11]. При этом низкие прочностные характеристики лёгких (мягких минераловатных)

делают подобные изоляционные оболочки ненадежными: за счет температурно-влажностного воздействия происходит постепенное разрушение связующего и ослабление контактных зон, а в результате действия воздушных потоков начинается вынос волокна из плит, что провоцирует их дальнейшее разрушение вплоть до нарушения целостности изоляционной оболочки [12-14].

Целью исследований, изложенных в статье, была оценка влияния нагрузок различного типа на целостность изоляционной оболочки и разработка предложений по повышению эксплуатационной стойкости лёгких минераловатных плит.

### Условия проведения эксперимента

В эксперименте были использованы легкие (мягкие) плиты на основе минеральной ваты различных производителей (табл. 1), мягкие плиты на основе стеклянной ваты, а также щелочестойкая стеклосетка с размером ячеек 5x5 мм.

Таблица 1.

Физико-технические характеристики мягких плит на основе каменной ваты

Показатели	Плиты 1	Плиты 2	Плиты 3
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	35	34	38
Сжимаемость, %	30	20	20
Теплопроводность при 10 °С, Вт/(м·К)	—	0,036	0,036
Теплопроводность при 25 °С, Вт/(м·К)	0,039	0,038	0,038
Теплопроводность в условиях эксплуатации А/Б, Вт/(м·К)	0,040/ 0,041	0,039/0,041	0,040/0,041
Водопоглощение по объему, %	2	1,5	1,5

Экспресс-методика ВШЭ-МГСУ, разработанная под руководством проф. Ю.Л. Боброва, позволяет оценить свойства минераловатных изделий (МВИ) в условиях температурно-влажностных воздействий (над кипящей

водой) в специальных камерах, выпускаемых компанией МАКСМИР [9, 11]. Ускоренные испытания фрагментов плит, размещаемых над кипящей водой, проводили в течение 20-25 мин. На показатель влагостойкости воздействие температур, близких к 100 °С, не оказывает существенного влияния (рис. 2). Оценка прочностных показателей образцов осуществлялась по изменению сжимаемости.



Рис. 2. Камера для проведения экспресс-испытаний: мягких и полужестких плит

Исследования проводились в лабораториях РОКВУЛ. Исследования проводились в рамках реализации научно – исследовательской работы по теме ФНИ РААСН №3.1.2.1 «Развитие теоретических основ получения особолёгких неорганических строительных материалов и исследование влияния пористой структуры на их теплофизические и акустические характеристики», выполняемой по заданию Минстрой России. Часть исследований выполнено в НИУ МГСУ в рамках реализации Программы развития университета «ПРИОРИТЕТ 2030». Проект 3.1 «Научный прорыв в строительной отрасли – новые технологии, новые материалы, новые методы»

В эксперименте рассматривались три группы теплоизоляционных изделий, используемых в строительных системах с ненагружаемой

теплоизоляцией: плиты на основе стеклянной ваты, плиты на основе каменной ваты и плиты на основе каменной ваты с усиленным наружным слоем. Плотность плит подбиралась приблизительно равной: в интервале 25–37 кг/м<sup>3</sup>.

*Изменение средней плотности изделий в условиях климатических воздействий* происходит в результате их сжатия (отрицательной объемной деформации) при циклическом температурно-влажностном воздействии (рис. 3). Изменение этого показателя незначительно, но, тем не менее, должно учитываться при выборе изделий.

Очевидно, что «сжатие» минераловатных плит ведет к увеличению их теплопроводности (как функции средней плотности), так же могут формироваться неутепленные зазоры между плитами, уложенными на кровлю и по границам контакта между плитами и стропилами. В последнем случае, так как плиты укладываются в распор между стропилами, снижается и прочность фиксации этих плит на кровле.

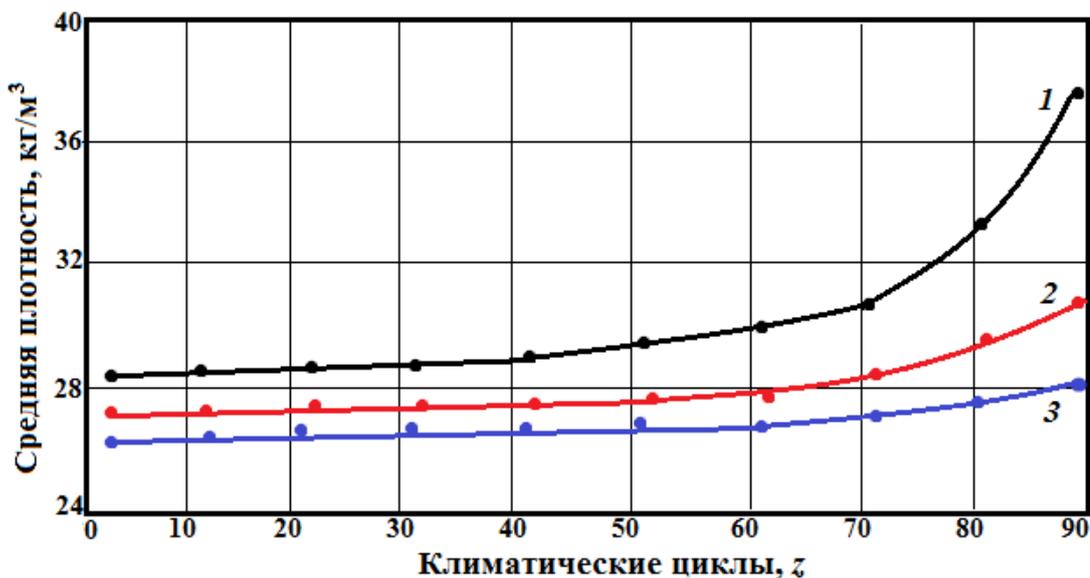


Рис. 3. Зависимость средней плотности изделий от климатических циклов: 1 – плиты на основе стеклянной ваты; 2 – плиты на основе каменной ваты; 3 – плиты из каменной ваты с усиленным наружным слоем

Причины повышения средней плотности в результате климатических воздействий те же: ослабление прочности омоноличенных контактов между волокнами, частичное разрушение этих контактов и частичное разрушение стеклянного волокна. При воздействии омывающих потоков воздуха эти факторы должны проявляться в большей степени.

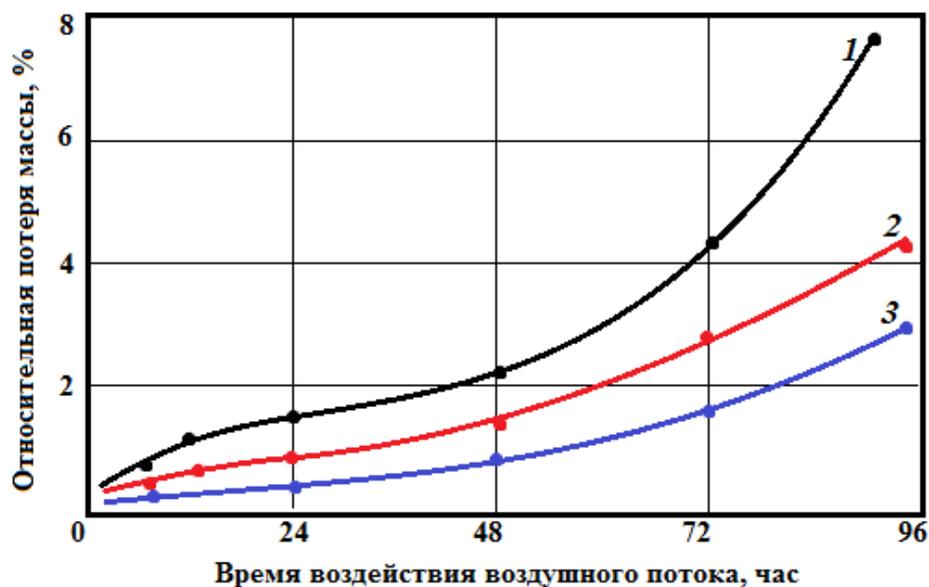
Оценка эрозии изделий в условиях воздействия воздушных потоков без климатических воздействий осуществлялась по потере массы изделий в результате нахождения изделий в воздушном потоке по формуле (1). В качестве критерия оценки принята относительная потеря массы изделием ( $m' = 100 \cdot \Delta m / m_0$ ) в зависимости от скоростей воздушного потока ( $v$ ) и длительности его воздействия ( $\tau_v$ ):

$$m' = f(v, \tau_v, T_H) \quad (1)$$

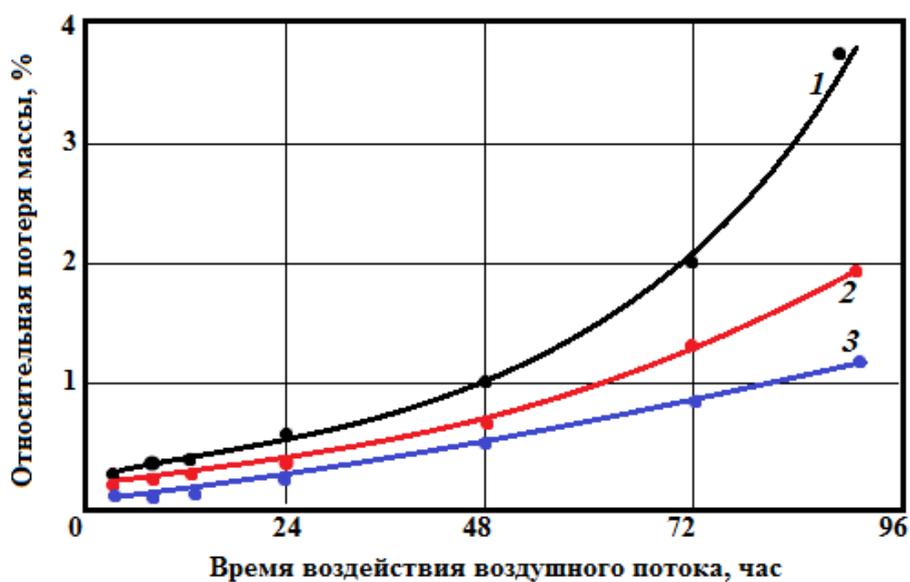
Эксперимент проводился для тех же групп изделий ( $T_H$  – тип изделия): плит на основе стеклянной ваты, плит на основе каменной ваты и плиты на основе каменной ваты с усиленным наружным слоем.

При небольших скоростях воздушного потока ( $v = 0,5$  м/с соответствует безветренной погоде и при длине ската кровли, не превышающей 6 м) потеря массы минераловатных изделий незначительна и при времени испытаний до 48 час. является соразмерной ошибке эксперимента. В основном это обусловлено удалением из материала гигроскопической влаги за счет ее испарения с поверхности минераловатных изделий (рис. 4 б). При высоких скоростях воздушного потока ( $v = 8$  м/с соответствует сильному ветру над кровлей при длине ската более 6 м) для изделий на основе стекловаты зафиксирован вынос волокна, что обусловлено меньшей прочностью стеклянного волокна по сравнению с волокном базальтовой группы.

---



*а*



*б*

Рис. 4. Потери массы в результате омывания изделий воздухом (без климатических воздействий): а – средняя скорость потока 8 м/с; б – средняя скорость потока 0,5 м/с; 1 – плиты на основе стеклянной ваты; 2 – плиты на основе каменной ваты; 3 – плиты из каменной ваты с усиленным наружным слоем

Оценка эрозии изделий в условиях воздействия воздушных потоков после климатических воздействий показала, что минераловатные изделия без упрочняющего слоя (щелочестойкой стеклосетки) подвержены эрозии в значительно большей степени. Стеклосетка, скреплённая термомеханически с минераловатным ковром (в единое изделие) вполне может выполнять функцию ветрозащитной мембраны. При больших скоростях омывания потоком воздуха теплоизоляционного слоя критическая эрозия плит на основе стеклянной ваты (потеря ими волокна) начинается после 48 часов с начала эксперимента, а в результате становится возможным и потеря целостности изоляционной оболочкой.

Изделия на основе каменной ваты лучше сопротивляются воздействию высоких скоростей потока за счет более глубокого переплетения волокон в структуре плит (так называемой объемной ориентации волокон). С одной стороны – механическая прочность растет за счет переплетения волокон, а с другой – увеличивается количество точек контакта между волокнами, омоноличенными связующим. Изделия с упрочненным наружным слоем также имеют объемно-ориентированную структуру, а поверхность усиленная стеклосеткой способствует более надежному закреплению волокон в поверхностном слое. При незначительных скоростях потока воздуха эрозия изделий проявляется минимально, за исключением плит на основе стеклянной ваты, где возможны локальные повреждения.

### **Заключение**

Разработаны основы получения минераловатных изделий с упрочненным наружным слоем и повышенной эксплуатационной стойкостью для применения в системах изоляции скатной кровли, а также в конструкциях каркасных зданий. За счет использования упрочняющего слоя эксплуатационная стойкость изоляционной оболочки повышается по

---

сравнению с легкими плитами на основе каменной ваты в 1,7 раза и по сравнению с плитами из стекловаты — в 2,4 раза.

Минераловатные изделия с упрочненным наружным слоем (МВИ ЛАЙТ Плюс) имеют следующие характеристики: теплопроводность 0,036—0,037 Вт/(м·К); средняя плотность не менее 34 кг/м<sup>3</sup> и не более 36 кг/м<sup>3</sup>; сжимаемость 24—20 %; паропроницаемость около 0,30 мг/(м·ч·Па). Содержание органических веществ: 2,5 %; горючесть – НГ. Толщина МВИ ЛАЙТ Плюс: 50, 100, 200 мм; ширина от 0,8 м. до 1,2 м. Длина изделий толщиной 50 и 100 мм – не более 6 м (сворачиваются в рулоны и упаковываются в пленку). Длина изделий толщиной 200 мм – не более 2 м.

### Литература

1. Рахимов Р.З., Шелихов Н.С., Смирнова Т.В. Теплоизоляция из каменной ваты: Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 312 с.
2. Киселев И.Я. Зависимость теплопроводности современных теплоизоляционных строительных материалов от плотности, диаметра волокон или пор, температуры – М.: Строит. материалы, 2003 №7. – с. 17–19
3. Перфилов В.А., Пилипенко А.С., Пятаев Е.Р. Эксплуатационная стойкость минераловолокнистых изделий / Вестник МГСУ 2016. №3. С. 79–85
4. Боброва Е.Ю., Жуков А.Д., Артеменко С.О., Гудков П.К. Цифровая оптимизация свойств композиционного связующего // Инженерный вестник Дона – 2025. - №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2025/9794](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2025/9794)
5. Пилипенко А.С., Перфилов В.А., Матьков К.В. Повышение эффективности технологии минераловатных плит / Вестник МГСУ 2016. №3. С. 86–92

6. Шитова И.Ю. Строительные материалы в деревянном домостроении (учебное пособие) - Пенза: ПГУАС, 2020 г. - 140 с. EDN: UADQHW
  7. Шеина С.Г., Цопа Н.В., Моделирование выбора наиболее эффективного варианта устройства кровли // Инженерный вестник Дона – 2024. - №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2024/9133
  8. Мотылев Р. В., Островкин Д. С., Особенности строительства домов из деревянных панельно-каркасных конструкций на строительной площадке // Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10–11 февраля 2021 года. – С. 127-134. – EDN SXFFCN.
  9. Zhukov A. D.; Konovaltseva T. V.; Bobrova E. Yu.; Minaeva A. M.. Structure and properties of fibrous thermal insulation materials // AIP Conference Proceedings 2497, 040004 (2023) DOI: doi.org/10.1063/5.0105106
  10. Йожеф К.. Крыши и кровельные работы. ЗАО "Издательская группа "Контэнт"". - М., 2007, 271 с.
  11. Тер-Закарян К.А., Жуков А.Д., Бессонов И.В., Боброва Е.Ю., Пилипенко А.С., Горбунова Э.А. Мониторинг систем изоляции деревянного коттеджа // Жилищное строительство. 2022. № 6. С. 16–22. DOI: doi.org/10.31659/0044-4472-2022-6-16-22
  12. Бессонов И.В., Жуков А.Д., Князева В.П., Говряков И.С., Горбунова Э.А. Повреждения и дефекты строительных материалов // Бюллетень строительных технологий. 2023. №7 (1067). С 12-15
  13. Gnip I., Kersulis V., Vaitkus S., Vejelis S. Predicting the deformability of mineral wool slabs under constant compressive stress // Constr. Build. Mater. 2009:23; 1928–1934.
  14. Гусев Б.В., Езерский В.А., Монастырев П.В. Измерение линейных размеров минераловатных плит в условиях эксплуатационных воздействий. – М.: Промышленное и гражданское строительство 2004 г. №8, с 32–34
-

## References

1. Rakhimov R.Z., Shelikhov N.S., Smirnova T.V. Teploizolyatsiya iz kamennoy vaty: Uchebnoye posobiye [Stone wool insulation: Textbook]. Moskva: ASV Publ., 2010. 312 p.
  2. Kiselev I.Ya. Stroit. materialy [Construction materials]. 2003, no. 7, pp. 17–19.
  3. Perfilov V.A., Pilipenko A.S., Pyataev E.R. Vestnik MGSU. 2016, no. 3, pp. 79–85.
  4. Bobrova E.Yu., Zhukov A.D., Artemenko S.O., Gudkov P.K. Inzhenernyj vestnik Dona. 2025, no. 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2025/9794](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2025/9794)
  5. Pilipenko A.S., Perfilov V.A., Mat'kov K.V. Vestnik MGSU. 2016, no. 3, pp. 86–92.
  6. Shitova I.Yu. Stroitel'nyye materialy v derevyannom domostroyenii [Construction materials in wooden housing construction]. Penza: PGUAS, 2020. 140 p. EDN: UADQHW
  7. Sheina S.G., Tsopa N.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2024, no. 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2024/9133](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2024/9133)
  8. Motylev R.V., Ostrovkin D.S. Organizatsiya stroitel'nogo proizvodstva: Materialy III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Proc. 3rd All-Russian Sci. and Pract. Conf. on Construction Management]. Sankt-Peterburg: SPbGASU, 2021, pp. 127–134. EDN: SXFFCN.
  9. Zhukov A. D.; Konovaltseva T. V.; Bobrova E. Yu.; Minaeva A. M. AIP Conference Proceedings 2497, 040004 (2023) DOI: [doi.org/10.1063/5.0105106](https://doi.org/10.1063/5.0105106)
  10. Jozhef K. Kryshi i krovel'nyye raboty [Roofs and roofing works]. Moskva: Kontent Publ., 2007. 271 p.
  11. Ter-Zakaryan K.A., Zhukov A.D., Bessonov I.V., Bobrova E.Yu., Pilipenko A.S., Gorbunova E.A. Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2022, no. 6, pp. 16–22. DOI: [doi.org/10.31659/0044-4472-2022-6-16-22](https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-6-16-22)
-



12. Bessonov I.V., Zhukov A.D., Knyazeva V.P., Govryakov I.S., Gorbunova E.A. Byulleten' stroitel'nykh tekhnologiy. 2023, no. 7 (1067), pp. 12–15.
13. Gnip I., Kersulis V., Vaitkus S., Vejelis S. Constr. Build. Mater. 2009, vol. 23, pp. 1928–1934.
14. Gusev B.V., Ezersky V.A., Monastyrev P.V. Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2004, no. 8, pp. 32–34.

**Дата поступления: 29.05.2025**

**Дата публикации: 25.07.2025**