УДК 624.012.4-183.2
doi: 10.33622/0869-7019.2023.11.71-76

# Методика подбора огнезащитных теплоизолирующих покрытий для перекрытий с усилением композитными материалами

**Святослав Вячеславович ШОКОТ**[1,2], доцент кафедры архитектурно-строительного проектирования филиала НИУ МГСУ в г. Мытищи, зав. расчетно-конструкторским отделом КТБ Железобетон, s.shokot@ktbbeton.com

[1] Филиал НИУ МГСУ в г. Мытищи, Московская обл., 141006 г. Мытищи, Олимпийский просп., 50

[2] КТБ Железобетон, 109428 Москва, ул. 2-я Институтская, 6, стр. 64

***Аннотация***. *Расчет конструкций, усиленных композитными материалами, при нормальной эксплуатации довольно подробно описан в действующем своде правил и ряде исследований. Проблемой при проектировании подобного усиления становится подбор огнезащитного состава для обеспечения огнестойкости. Данный состав должен обладать свойствами, которые обеспечат температуру в композитном материале и адгезивном составе не выше 50...60 °С. Имеющиеся на рынке терморасширяющиеся покрытия, как правило, способны обеспечить огнестойкость системы усиления композитными материалами не более 120 мин. Большее время обеспечения огнестойкости во многих случаях достигается при использовании теплоизолирующих материалов. Расчет толщины теплоизолирующего материала часто сводится к решению задачи по нахождению температурного поля в сечении при нестационарном тепловом потоке. Приведен инженерный подход, позволяющий подобрать толщину теплоизолирующего материала. Подход основан на модификации имеющейся методики расчета без применения ЭВМ температурного поля для железобетонных конструкций. Произведено сравнение результатов расчета по разработанной инженерной методике с точным решением, полученным в ПК Abaqus.*

***Ключевые слова***: *огнезащита, расчет огнестойкости, расчет толщины огнезащиты, композитные материалы*

***Для цитирования***: *Шокот С. В.* Методика подбора огнезащитных теплоизолирующих покрытий для перекрытий с усилением композитными материалами // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 11. С. 71—76. doi: 10.33622/0869-7019.2023.11.71-76

## METHOD FOR SELECTION OF FIRE-RESISTANT HEAT-INSULATING COATINGS FOR FLOORS REINFORCED WITH COMPOSITE MATERIALS

**Svyatoslav V. SHOKOT**[1,2], s.shokot@ktbbeton.com

[1] Branch of MGSU in Mytishchi, Olympic prospekt, 50, Mytishchi 141006, Moscow region, Russian Federation

[2] KTB Beton Group, 2-ya Institutskaya ul., 6, str. 64, Moscow 109428, Russian Federation

***Abstract***. *The calculation of structures reinforced with composite materials during normal operation is described in some detail in the current set of rules of normative document and a number of studies. The problem when designing such reinforcement is the selection of a flame retardant to ensure fire resistance. The flame retardant composition must have properties that will ensure a temperature in the composite material and adhesive composition of no more than 50 ... 60 °C. The thermally expanding coatings available on the market, as a rule, are able to ensure the fire resistance of the reinforcement system with composite materials for no more than 120 minutes. A longer time to ensure fire resistance in most cases is achieved by using heat-insulating materials. The calculation of the thickness of the insulating material in many cases is reduced to solving the problem of finding the temperature field in the cross section with a non-stationary heat flow. An engineering approach that makes it possible to choose the thickness of the heat insulating material is presented. This approach is based on the modification of the existing calculation method for calculation of the temperature field for reinforced concrete structures without the use of a computer. The calculation results are compared according to the developed engineering methodology with the exact solution obtained in the Abaqus PC.*

***Keywords***: *fire protection, calculation of fire resistance, calculation of the fire protection thickness, composite materials*

***For citation***: Shokot S. V. Method for Selection of Fire-Resistant Heat-Insulating Coatings for Floors Reinforced With Composite Materials. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2023, no. 11, pp. 71—76. (In Russ.). doi: 10.33622/0869-7019.2023.11.71-76

© ШОКОТ С. В., 2023

В настоящее время для усиления железобетонных конструкций широко применяются системы из композитных материалов. Для расчетного обоснования данного способа усиления разработан СП 164.1325800.2014 «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования» и проведен ряд испытаний [1—17]. Помимо стандартных расчетов, приведенных в указанном нормативном документе для стадии нормальной эксплуата-

ции, необходимо дополнительно обеспечить требуемый предел огнестойкости при аварийной ситуации. В п 4.14. СП 164.1325800 говорится только о том, что огнестойкость обеспечивается специальными огнеупорными составами. Огнезащитный состав предполагается подбирать на основе испытаний, которые необходимо проводить в соответствии с ГОСТ 30247.1—94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции». Результаты, подтверждающие эффективность того или иного огнезащитного состава, предоставляет производитель состава после соответствующих испытаний. Также некоторые научные исследования влияния высоких температур на системы усиления с композитными материалами приведены в [18, 19].

Основная особенность работы усиления композитными материалами в условиях высоких температур состоит в том, что сам композитный материал может работать при высокой температуре — порядка 800 °С и более. Однако огнестойкость самого композитного материала не является определяющей. Фактор, обеспечивающий надежную работу усиления, — состояние эпоксидного адгезивного состава, который наносится на усиливаемую конструкцию и к которому приклеивается сам композитный материал. Для большинства эпоксидных составов клеевые свойства начинают деградировать при температуре 50...60 °С (температура стеклования). Поэтому огнезащитный состав должен обеспечить довольно низкую температуру при пожаре в системе усиления.

Имеющиеся огнезащитные покрытия подразделяются на следующие виды:

- терморасширяющиеся (краска, тонкослойные вспучивающиеся покрытия);
- теплоизолирующие (штукатурка, листовые огнезащитные покрытия, минераловатная защита).

Терморасширяющиеся покрытия, как правило, способны обеспечить огнестойкость системы усиления композитными материалами не более 120 мин. Большее время обеспечения огнестойкости во многих случаях достигается за счет применения теплоизолирущих материалов. Расчет толщины теплоизолирующего материала часто сводится к решению задачи по нахождению температурного поля в сечении при нестационарном тепловом потоке. Например, в документах[1,2] даны общие указания по теплотехническому расчету и приведены формулы в общем виде, без конкретной методики. Проведение расчета весьма затруднительно для рядового инженера, поскольку требуется самостоятельно программировать дополнительные расчетные утилиты.

В широко распространенных инженерных программных комплексах (ЛИРА-САПР, ЛИРА 10) еще не в полном объеме реализована возможность решения данной задачи. В этой связи представляется целесообразной разработка инженерного подхода, имеющего достаточную сходимость с точным результатом теплотехнического расчета и позволяющего подобрать толщину теплоизолирующего материала.

Точное решение нестационарной задачи теплопроводности может быть получено путем решения дифференциальных уравнений Фурье. Реализация точного решения возможна в некоторых универсальных расчетных программных комплексах (ПК), например в ПК Abaqus. Для расчета в программе задается ряд параметров материала: удельные вес и теплоемкость, теплопроводность. Параметры могут изменяться по различным законам в зависимости от температуры. Законы изменения приведены, например, в документах[2,3] и у производителей материалов. Также задаются граничные условия: температура среды, конвективный и лучистый тепловые потоки. Температура среды при расчете огнестойкости определяется по стандартному общепринятому закону, приведенному, например, в документах[2,3]. Для конвективного теплового потока устанавливают коэффициент теплообмена, а для лучистого теплового потока — приведенную степень черноты. Данные параметры четко определены в рекомендациях[3].

Построение температурного поля наиболее простым методом без применения ЭВМ приведено в рекомендациях[3] для железобетонных конструкций. Методика заключается в определении температуры в конкретной точке по координатам в зависимости от коэффициента температуропроводности:

$$a_{red} = \frac{3{,}6\lambda(450)}{(C(450) + 0{,}05w)\rho},$$

где $\lambda$ — коэффициент теплопроводности при 450 °С нагрева, Вт/(м·°С); $C$ — коэффициент теплоемкости при 450 °С нагрева, кДж/(кг·°С); $w$ — эксплуатационная массовая влажность, %; $\rho$ — плотность, кг/м$^3$.

Сначала вычисляется значение

$$x_i'' = x_i + \varphi_1 (a_{red})^{0,5},$$

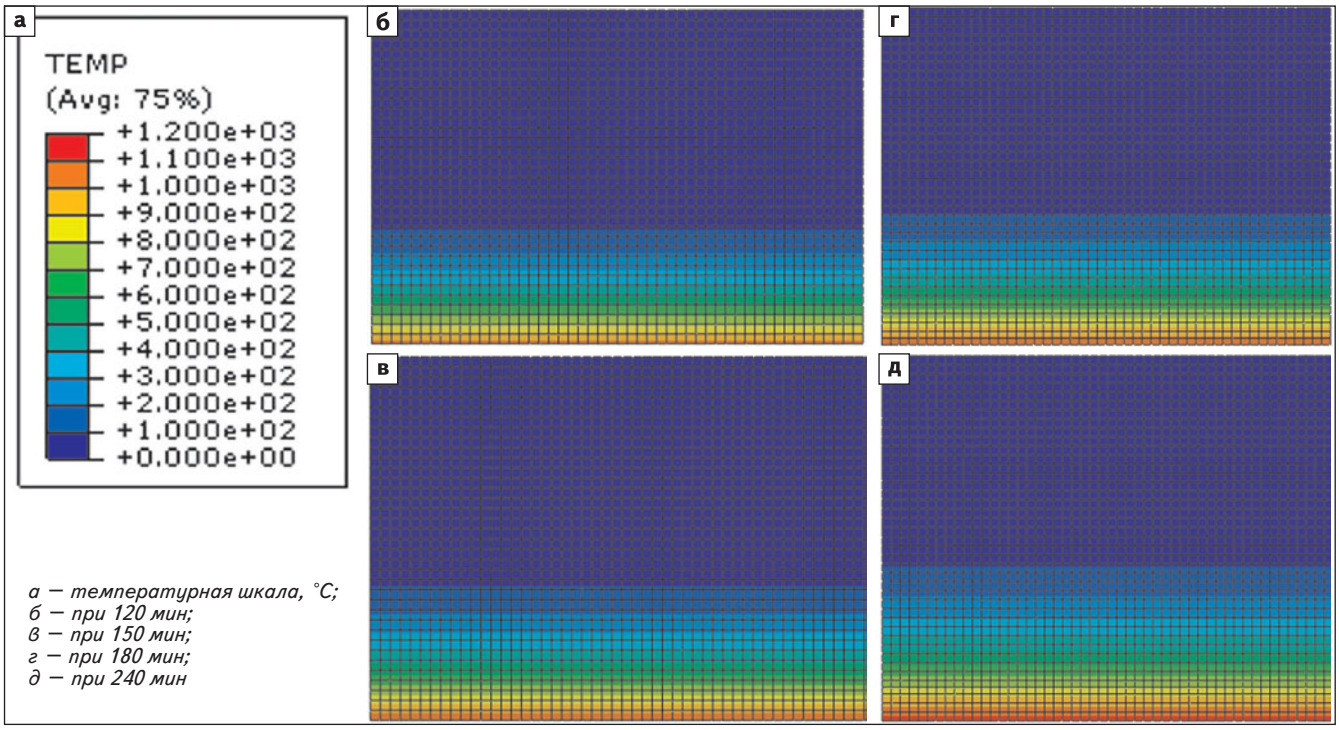
где $x_i$ — расстояние от обогреваемой поверхности до рассматриваемой точки сечения, м; $\varphi_1$ — коэффициент, зависящий от плотности обогреваемой среды, ч$^{0,5}$.

---

1 Инструкция по расчету фактических пределов огнестойкости стальных конструкций с композицией огнезащитной, выполненной из плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты CONLIT SL 150 ТУ 5762-050-45757203-15 (изм. 1—6) и клея CONLIT Glue ТУ 2252-018-52935415-2010 (изм. 1) / ФГБУ ВНИИПО МЧС России. М., 2017. 27 с.

2 СТО 36554501-006-2006 «Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций» / ФГУП «НИЦ «Строительство». М., 2006. 78 с.

3 Рекомендации по расчету пределов огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций / НИИЖБ. М. : Стройиздат, 1986. 40 с.




***Температурное поле в ПК Abaqus***

Толщина начавшего прогреваться слоя бетона определяется по формуле

$$l = (12a_{red}\,\tau)^{0,5}, \text{ м},$$

где $\tau$ — время обогрева конструкции, ч.

Относительное расстояние равно:

$$r_1 = x_i''/l \leqslant 1.$$

Температуру в рассматриваемой точке плиты находят из уравнения

$$t = 20 + 1200(1 - r_1)^2, \text{ °C}.$$

Адаптация методики[3] к расчету температурного поля и подбору толщины теплоизолирующего материала имеет следующие особенности, которые будут вносить погрешность в результат расчета:

• методика изначально разработана для расчета однородных однослойных конструкций;

• коэффициент $\varphi_1$, приведенный в справочных данных методики[3], определен для диапазона плотностей 500—2450 кг/м$^3$ (т. е. только для бетона).

Для решения первой проблемы предлагается принимать при расчете температурного поля характеристики по всей толщине сечения «бетон—теплоизолирующий материал» как у теплоизолирующего материала, поскольку основной температурный нагрев воспринимает именно теплоизолирующий материал. Для решения второй проблемы предлагается находить коэффициент $\varphi_1$ по экстраполяции.

Ниже приведены исходные данные для расчетов, а также представлены результаты оценки сходимости расчетов по адаптированной методике для нахождения температурного поля (температуры на контакте «бетон—композит—огнезащита») с точным решением, полученным в ПК Abaqus.

При проведении расчетов были приняты следующие параметры усиливаемой плиты, элементов усиления и теплоизоляции:

• толщина железобетонной плиты перекрытия в диапазоне 120—300 мм;

• коэффициент теплообмена для систем:

- «обогревающая среда—поверхность» — 29 Вт/(м·°С);
- «необогреваемая среда—бетонная поверхность» — 1,5 Вт/(м·°С);

• приведенная степень черноты:

- «обогревающая среда—бетонная поверхность» $\varepsilon_{red}$ = 0,56;
- «воздух—бетонная поверхность» $\varepsilon_{red}$ = 0,63;

• для бетона:

- коэффициент теплопроводности $\lambda = 1,2 - 0,00035t$, Вт/(м·°С);
- коэффициент теплоемкости $C = 0,71 + 0,00083t$, кДж/(кг·°С);

• для изоляции РОКВУЛ:

- коэффициент теплопроводности $\lambda$ = 0,037 Вт/(м·°С);
- коэффициент теплоемкости $C$ = 0,84 кДж/(кг·°С);

• плотность $\rho$:

- бетона — 600...2350 кг/м$^3$;
- изоляции РОКВУЛ — 110 кг/м$^3$.

Характеристики композитного материала не задаются в силу его малой толщины.

При решении задачи в ПК Abaqus получены следующие результаты:

• при снижении плотности бетона с 2350 до 600 кг/м$^3$ темпера-

***Результаты расчета по разработанной методике и при расчете в ПК Abaqus***

| Время пожара, мин | Расчетная толщина огнезащиты, м | Значение $x_1'$, м | Толщина начавшегося прогрева, м | Относительное расстояние, м | Температура на контакте «бетон—композит—огнезащита» при расчете, °С | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | без ЭВМ | в ПК Abaqus |
| 120 | 0,14 | 0,155 | 0,186 | 0,833 | 54 | 55 |
| 150 | 0,16 | 0,175 | 0,208 | 0,841 | 50 | 50 |
| 180 | 0,175 | 0,19 | 0,228 | 0,834 | 53 | 49 |
| 240 | 0,205 | 0,22 | 0,263 | 0,836 | 52 | 45 |

тура на контакте «бетон—композит—огнезащита» увеличивается на 3...5 °С, что не критично;

• изменение толщины железобетонной плиты от 120 до 300 мм изменяет температуру в пределах 2...3 °С, что также не критично;

• температурные поля в основном зависят от толщины огнезащиты.

Для определения минимальной толщины огнезащиты и оценки сходимости результатов расчетов по предложенной адаптированной методике (без ЭВМ) с точным результатом в ПК Abaqus проведены расчеты с толщиной перекрытия 200 мм и плотностью 2350 кг/м$^3$. Температурные поля, полученные в ПК Abaqus, приведены на *рисунке*. Результаты расчета по разработанной методике и при расчете в ПК Abaqus сведены в *таблицу*. Согласно *таблице* при времени пожара 120—150 мин получена хорошая сходимость результатов, а при 180—240 мин методика без ЭВМ дает несколько завышенную температуру. В этом случае имеется запас в толщине утеплителя и повышается огнестойкость конструкции.

Также необходимо отметить, что минимальная толщина огнезащиты устанавливается не только исходя из расчетных предпосылок, но и с учетом имеющейся у производителя номенклатуры материалов. Поэтому в некоторых случаях возможно применение больших толщин слоев, чем те, которые являются достаточными по результатам расчетов.

На основании всего комплекса выполненных расчетно-аналитических исследований сделан вывод об удовлетворительной сходимости результатов расчета по адаптированной методике (без применения ЭВМ) с точным результатом, полученным в ПК Abaqus с учетом указанных особенностей разработанной методики. Удовлетворительная сходимость объясняется тем, что первая особенность не вносит большую погрешность в общий результат, поскольку разогрев не превышает 50...60 °С на границе «бетон—композит—огнезащита» (температура стеклования) и теплотехнические характеристики бетона не успевают значительно изменить температурное поле. Вторая особенность также не вносит большого вклада, поскольку в целом с принятым по экстраполяции коэффициентом $\varphi_1$ температурное поле имеет удовлетворительную сходимость с точным расчетным результатом.

## Выводы

**1.** Разработан инженерный подход к определению толщины теплоизолирующего материала для обеспечения огнестойкости композитного материала.

**2.** Произведено сравнение результатов расчета по разработанной адаптированной методике с точным решением, полученным в ПК Abaqus.

**3.** Разработанный метод имеет удовлетворительную сходимость с точным результатом теплотехнического расчета и позволяет подобрать толщину теплоизолирующего материала с учетом гарантированного обеспечения требуемой огнестойкости композитного материала усиления во всем диапазоне рассмотренных температур.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ


1. *Бокарев С. А., Смердов Д. Н.* Нелинейный анализ железобетонных изгибаемых конструкций, усиленных композитными материалами // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. № 2. С. 113–125.
2. *Бокарев С. А., Смердов Д. Н., Устинов В. П., Яшнов А. Н.* Усиление пролетных строений с использованием композитных материалов // Путь и путевое хозяйство. 2008. № 6. С. 30–31.
3. *Быков А. А., Румянцев С. Д., Бирин А. С.* Экспериментальное исследование прочностных и деформационных характеристик железобетонных балок, усиленных углепластиком // Вестник ПНИПУ. 2016. № 2(22). С. 112–126.
4. *Григорьева Я. Е.* Экспериментальное исследование влияния внешнего армирования изгибаемых железобетонных балок углеволокном на прочность и жесткость конструкций // Вестник МГСУ. 2011. № 8. С. 181–184.
5. *Овчинников И. И., Овчинников И. Г., Чесноков Г. В., Михалдыкин Е. С.* Анализ экспериментальных исследований по усилению железобетонных конструкций полимерными композитными материалами. Ч.1. Отечественные эксперименты при статическом

нагружении // Науковедение. 2016. Т. 8. № 3. URL: http://naukovedenie.ru/PDF (дата обращения: 20.12.2022).

6. *Овчинников И. И., Овчинников И. Г., Чесноков Г. В., Михалдыкин Е. С.* Анализ экспериментальных исследований по усилению железобетонных конструкций полимерными композитными материалами. Ч. 2. Влияние температуры // Науковедение. 2016. Т. 8. № 4. URL: http://naukovedenie.ru/ PDF/ 01TVN416.pdf (дата обращения: 20.12.2022).
7. *Смердов М. Н., Смердов Д. Н., Клементьев А. О.* Экспериментальные исследования прочности и деформативности изгибаемых железобетонных элементов, армированных в сжатой и растянутой зоне неметаллической композитнной арматурой // Транспорт Урала. № 4. Р. 49–54.
8. *Смердов М. Н., Неволин Д. Г., Клементьев А. О., Смердов Д. Н.* Методика расчета изгибаемых бетонных элементов, армированных полимерными композиционными материалами // Транспорт Урала. 2015. № 3. С. 98–101.
9. *Смоляго Г. А., Ищук Я. Л., Чередниченко А. П.* Усиление изгибаемых железобетонных элементов углеволокном с учетом истории нагружений // Наука и инновации в строительстве : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (к 165-летию со дня рождения В. Г. Шухова). Белгород, 2018. С. 120–124.
10. *Шилин А. А., Пшеничный В. А., Картузов Д. В.* Внешнее армирование железобетонных конструкций композитными материалами. М. : Стройиздат, 2007. 180 с.
11. *Юшин А. В.* К расчету наклонных сечений элементов железобетонных конструкций, усиленных композитными материалами // Вестник гражданских инженеров. 2013. № 4(39). С. 83–91.
12. *Хишмах М., Польской П. П., Михуб А.* К вопросу о деформативности балок из тяжелого бетона, армированных стеклопластиковой и комбинированной арматурой // Инженерный вестник Дона. 2012. № 4. С. 163–166.
13. *Польской П. П., Маилян Д. Р., Мерват Х., Кургин К. В.* О деформативности изгибаемых элементов из тяжелого бетона при двухрядном расположении углепластиковой и комбинированной арматуры // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4. URL: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/ n4y2013/2094 (дата обращения: 20.12.2022).
14. *Польской П. П., Георгиев С. В.* Вопросы исследования сжатых железобетонных элементов, усиленных различными видами композитных материалов // Там же. URL: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/ n4y2013/2134 (дата обращения: 20.12.2022).
15. *Клюев С. В.* Усиление и восстановление конструкций с использованием композитов на основе углеволокна // Бетон и железобетон. 2012. № 3. С. 23–26.
16. *Клюев С. В., Гурьянов Ю. В.* Внешнее армирование изгибаемых фибробетонных изделий углеволокном // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 1(36). С. 21–26.
17. *Клюев С. В., Рубанов В. Г., Павленко В. И.* [и др.]. Расчет строительных конструкций, усиленных углеволокном // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2013. № 5. С. 54–56.
18. *Бокарев С. А., Неровных А. А., Смердов Д. Н.* Стойкость изгибаемых железобетонных конструкций, усиленных композиционными материалами на основании углеродного волокна, к воздействию отрицательных и положительных температур // Междунар. науч.-практ. конф., посвященная 80-летию Сибирского государственного университета путей сообщения : тезисы конф. Ч. I. Новосибирск, 2012. С. 127–128.
19. *Смоляго Г. А., Обернихина Я. Л.* Обзор эффективности усиления полимеркомпозитными материалами. Огнестойкость конструкций // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2021. № 2. С. 15–27.

*R E F E R E N C E S*

1. Bokarev S. A., Smerdov D. N. Nonlinear analysis of reinforced concrete bending structures reinforced with composite materials. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2010, no. 2, pp. 113–125. (In Russ.).
2. Bokarev S. A., Smerdov D. N., Ustinov V. P., Yashnov A. N. Strengthening of span structures using composite materials. *Put' i putevoe khozyaystvo*, 2008, no. 6, pp. 30–31. (In Russ.).
3. Bykov A. A., Rumyantsev S. D., Birin A. S. Experimental study of the strength and deformation characteristics of reinforced concrete beams reinforced with carbon fiber. *Vestnik PNIPU*, 2016, no. 2(22), pp. 112–126. (In Russ.).
4. Grigorieva Ya. E. The strength and deformability of reinforced concrete beams, reinforced with carbon fiber at a stage close to the exhaustion of the bearing capacity. *Vestnik MGSU*, 2011, no. 8, pp. 181–184. (In Russ.).
5. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Chesnokov G. V., Mikhaldykin E. S. Analysis of experimental studies on the reinforcement of reinforced concrete structures with polymer composite materials. Part 1. Domestic experiments under static loading. *Naukovedenie*, 2016, vol. 8, no. 3. Available at: http://naukovedenie.ru/PDF/ (accessed 20.12.2022). (In Russ.).
6. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Chesnokov G. V., Mikhaldykin E. S. Analysis of experimental studies on the reinforcement of reinforced concrete structures with polymer composite materials. Part 2. Influence of temperature. *Naukovedenie*, 2016, vol. 8, no. 4. Available at: http://nau-kovedenie.ru/ PDF / 01TVN416.pdf (accessed 20.12.2022). (In Russ.).
7. Smerdov M. N., Smerdov D. N., Klementyev A. O. Experimental studies of the strength and deformability of bending reinforced concrete elements reinforced in a compressed and stretched zone with non-metallic

composite reinforcement. *Transport Urala*, 2014, no. 4, pp. 49–54. (In Russ.).

8. Smerdov M. N., Nevolin D. G., Klement'ev A. O., Smerdov D. N. Calculation method for flexible concrete elements reinforced with polymer composite materials. *Transport Urala*, 2015, no. 3, pp. 98–101. (In Russ.).
9. Smolyago G. A., Ischuk Ya. L., Cherednichenko A. P. Reinforcement of bent reinforced concrete elements with carbon fiber taking into account the history of loading. *Nauka i innovatsii v stroitel'stve* [Science and innovations in construction]. Collection of reports of the International Scientific and Practical Conference (to he 165th anniversary of the birth of V. G. Shukhov). Belgorod, 2018, pp. 120–124. (In Russ.).
10. Shilin A. A., Pshenichny V. A., Kartuzov D. V. *Vneshnee armirovanie zhelezobetonnyh konstrukcij kompozitnymi materialami* [External reinforcement of reinforced concrete structures with composite materials]. Moscow, Stroyizdat Publ., 2007. 180 p. (In Russ.).
11. Yushin A. V. To the calculation of inclined sections of reinforced concrete elements reinforced with composite materials. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2013, no. 4(39), pp. 83–91. (In Russ.).
12. Khishmah M., Polskoy P. P., Mihub A. On the deformability of beams made of heavy concrete, reinforced with fiberglass and combined reinforcement. *Inzhenernyy vestnik Dona*, 2012, no. 4, pp. 163–166. (In Russ.).
13. Polskoy P. P., Mayilyan D. R., Mervat K., Kurgin K. V. On the deformability of bending elements made of heavy concrete with a two-row arrangement of carbon fiber and combined reinforcement. *Inzhenernyy vestnik Dona*, 2013, no. 4. Available at: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2094 (accessed 20.12.2022). (In Russ.).
14. Polkoy P. P., Georgiev S. V. Research issues of compressed reinforced concrete elements reinforced with various types of composite materials. *Ibid*. Available at: ivdon.ru/ru/maga-zine/archive/n4y2013/2134 (accessed 20.12.2022). (In Russ.).
15. Klyuev S. V. Strengthening and restoration of structures using composites based on carbon fiber. *Beton i zhelezobeton*, 2012, no. 3, pp. 23–26. (In Russ.).
16. Klyuev S. V., Guryanov Yu. V. External reinforcement of bent fiber reinforced concrete products with carbon fiber. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal*, 2013, no. 1(36), pp. 21–26. (In Russ.).
17. Klyuev S. V., Rubanov V. G., Pavlenko V. I. et al. Calculation of building structures reinforced with carbon fiber. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova*, 2013, no. 5, pp. 54–56. (In Russ.).
18. Bokarev S. A., Nerovnykh A. A., Smerdov D. N. Resistance of bending reinforced concrete structures reinforced with composite materials based on carbon fiber to negative and positive temperatures. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 80-letiyu Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya* [International Scientific and Practical Conference dedicated to the 80th anniversary of the Siberian State University of Communications]. Part I. Novosibirsk, 2012, pp. 127–128. (In Russ.).
19. Smolyago G. A., Obernikhina Y. L. Review of the efficiency of reinforcement by fiber reinforced polymer materials. Fire resistance of structures. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova*, 2021, no. 2, pp. 15–27. (In Russ.).

**«УРАЛ-ПРЕСС» — КОРПОРАТИВНАЯ ПОДПИСКА СО ВСЕМИ УДОБСТВАМИ**

**Подписаться на журнал «Промышленное и гражданское строительство» стало проще и удобнее:**

1. Скачайте подписной каталог на сайте www.ural-press.ru, в котором 20 000 российских и зарубежных изданий.

2. Отправьте заявку на подписку по факсу или электронной почте в ваше региональное подразделение «Урал-Пресс».

3. Все документы и выписанные издания курьер доставит вам в офис.

Подписка с «Урал-Пресс» — это:
• персональный менеджер • доставка в первой половине дня лично в руки •
• полный пакет отчетных документов ежемесячно • подписка с любого месяца •
• восстановление вышедших ранее изданий •

Подробная информация и контакты всех представительств «Урал-Пресс» на сайте **www.ural-press.ru**.