

---

## Вопросы и задачи организационно-технологических решений усиления железобетонных конструкций полимер-композитными материалами.

*С.Д. Черноглазов<sup>1</sup>, Ю.С. Кунин<sup>2</sup>, А. Л. Мочалов<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>АО НИЦ «Строительная экспертиза», г.Москва*

*<sup>2</sup>Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет*

*<sup>3</sup>ООО «СигмаТех», г. Москва*

**Аннотация:** Полимер-композитные материалы получили широкое применение в строительной отрасли. В настоящее время данные материалы применяют для восстановления работоспособности зданий и сооружений, в независимости от их функционального назначения. На сегодняшний день, процесс производства работ выполняется ручным способом и в связи с этим, существует потребность в разработке оснастки и организационно-технологических методов по усилению конструкций полимер-композитными материалами, обеспечивающими увеличение производительности труда. В связи с недостаточным количеством исследований в данной области, нормативная документация регламентирующая порядок выполнения контроля качества строительно-монтажных работ на всех этапах восстановления строительных конструкций полимер-композитными материалами, весьма ограничена. В данной статье рассмотрены типовые решения по усилению строительных конструкций, указаны различные виды полимер-композитных материалов, применяемых при усилении, выполнено описание структуры технологического процесса усиления. Кроме того, выполнена оценка затрат времени при производстве работ ручным способом и с помощью средств малой механизации с применением дополнительной оснастки. Также следует отметить, что на основании изучения отечественного и зарубежного опыта выявлены вопросы, требующие системного подхода для их решения. Разработка и совершенствование нормативной базы, организационно-технологических решений позволит обеспечить дальнейшее развитие и применение композитных материалов в строительной отрасли.

**Ключевые слова:** Железобетонные конструкции, усиление, полимер-композитные материалы, технологические решения, входной контроль, операционный контроль, приемочный контроль.

### Введение.

Работоспособность строительных конструкций зданий и сооружений зависит от условий эксплуатации, нагрузок, влияния внешней среды, качества применяемых материалов и необходимого контроля качества при строительстве на протяжении всего срока эксплуатации [1]. В рамках определения технического состояния здания в процессе эксплуатации или перед проведением капитального ремонта, реконструкции объекта, а также при возможном его перепрофилировании, возникают вопросы, связанные с

необходимостью усиления строительных конструкций и их элементов, из-за появления дефектов [2] в процессе эксплуатации или при увеличении проектных нагрузок [3]. Для восстановления строительных конструкций и приведения их в соответствие с нормативными требованиями или увеличения несущей способности применяют различные технологии по усилению, одной из которых является усиление композитными материалами [1,4,5].

Композитные материалы до недавнего времени имели весьма ограниченное применение в строительном производстве, однако в течение многих десятилетий применялись в авиации и аэрокосмической промышленности, за счет своих физико-механических характеристик, таких как, малый вес, высокая прочность и модуль упругости, устойчивость к агрессивной среде, а так же способностью повторять практически любые геометрические формы конструкций и изделий [1].

Последние десятилетия в связи с уменьшением стоимости и увеличением производства композитных материалов, они стали наиболее часто применяться в строительстве как для вновь возводимых конструкций, так и для увеличения их несущей способности с целью приведения в работоспособное состояние [4].

Общую структурную схему усиления строительных конструкций в зависимости от типа усиления и выбора материалы можно представить следующим образом (ACI 440.2R-02. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. American Concrete Institute. 2002.)

За многолетний опыт, в мировой практике, разработаны и применяются следующие методы усиления строительных конструкций полимер-композитными материалами [5]:

— метод «мокрого» способа установки;

- метод, в основе которых лежат элементы, изготовленные заранее в заводских условиях (ламинаты);
- специальные методы (с применением предварительно напряженных полимер-композитных материалов; системы автоматического «обертывания», префабы и другие системы.



Схема.1. - Формирование выбора оптимальных решений по усилению строительных конструкций.

CFRP – Полимер-композит, армированный углеродным волокном (в том числе полимер, армированный графитовым волокном).

AFRP – полимер-композит, армированный арамидным волокном.

GFRP – Полимер-композит, армированный стекловолокном.

BFRP - Полимерные композиты на основе базальтовых волокон.

Hybrid – Полимерные композиты на основе разных видов волокон.

NSM – метод усиления внешним армированием (затяжка).

EBR – метод усиления внешним армированием (холстами).

EPT – метод усиления внешним армированием пластинами (ламелями).

---

## Материалы и методы.

В настоящее время существует большой выбор полимер-композитных материалов различных геометрических параметров, составов, адгезивов и т.д. Применение данных материалов зависит от типа восстанавливаемой конструкции, материала, габаритов и условий производства работ. Например, элементы в виде лент, наиболее применимы к плоским и прямым поверхностям, в тоже время, листы и ткани обладают большей гибкостью и могут быть применены для различных типов поверхностей и в зонах повышенных деформаций. Материалы для восстановления представлены следующими формами: ламинаты, ленты, ткани (однонаправленные, двунаправленные, мультинаправленные), сетки, стержни, и т.д). Для систем с предварительным напряжением используют ламинаты [5-7].

Полимер-композиты нашли свое применение в качестве восстановительных материалов железобетонных элементов (таких как балки, плиты, колонны и т. д.) по всему миру, где традиционные методы усиления могут быть проблематичными [5].

Одним из наиболее известных методов усиления железобетонных элементов включал использование стальных пластин, приклеенных эпоксидной смолой к внешним поверхностям (например, зонам напряжения) балок и плит. Данный метод прост и эффективен как с точки зрения финансовых затрат, так и с точки зрения механических характеристик, но имел ряд недостатков: коррозия стальных пластин, приводящая к ухудшению сцепления; сложность манипулирования тяжелыми стальными пластинами на тесных строительных площадках; необходимость в строительных лесах; и ограничение доступной длины пластин (которые необходимы в случае усиления изгиба длинных балок), что приводит к необходимости использования дополнительных соединений. Замена стальных пластин полосами FRP (рис. 1) обеспечивает удовлетворительное решение описанных выше проблем [5].



Рис.1. - Усиление ребристых плит покрытия полосами FPR.

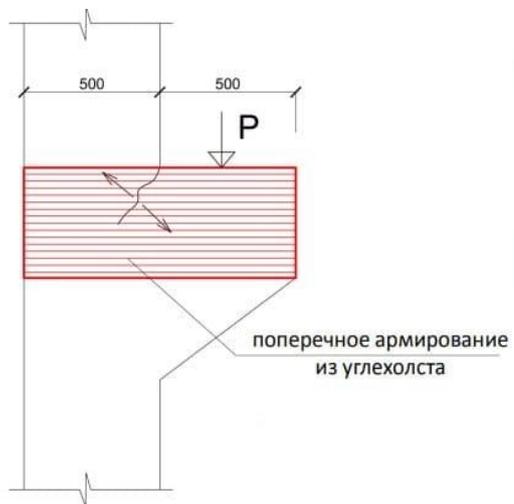


Рис.2.1 Узел усиления консоли колонны.



Рис.2.2 Узел усиления стен.

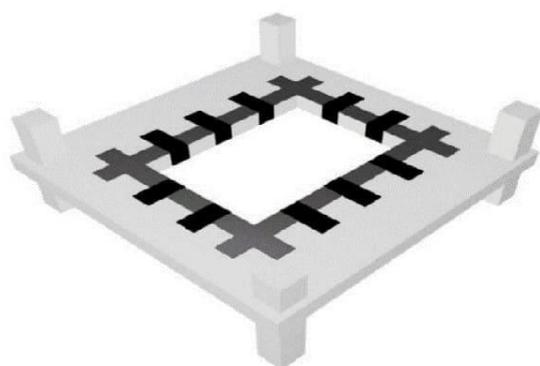


Рис.2.3 Узел усиления проема перекрытия.

При разработке проектных решений по усилению конструкций с применением полимер-композитных материалов, особое внимание должно быть уделено вопросам технологических решений, для обеспечения надлежащего качества выполнения работ, снижения трудоемкости, увеличения экономического эффекта, соблюдения правил охраны труда и техники безопасности.

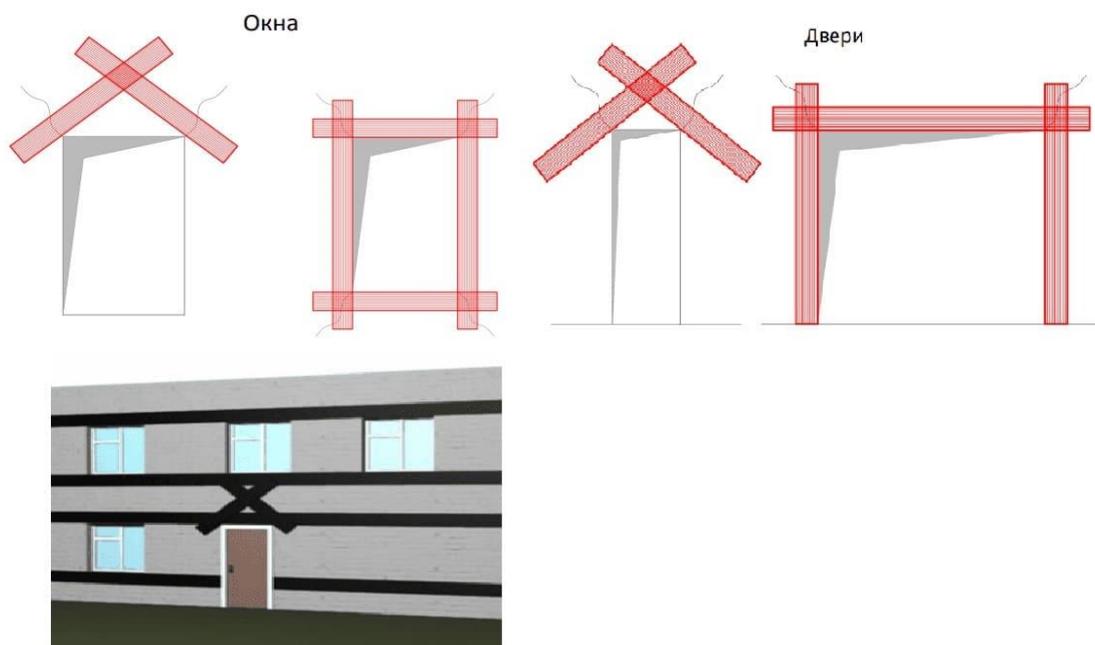


Рис.2.4 Узел усиления оконного и дверного проема.

Технология усиления строительных конструкций полимер-композитными материалами состоит из 7 этапов:

1. Обследование строительных конструкций с выявлением дефектов и повреждений [2,3,8].

2. Выполнение поверочных расчетов и принятие решения по усилению [9].
3. Выбор технологии и подготовка материалов по усилению [1,4].
4. Организация строительной площадки для производства работ [10];
5. Производство работ по восстановлению конструкций полимер-композитными материалами [6,7,11].
6. Работы по огнезащите и отделочные работы.
7. Сдача объекта в эксплуатацию.

Технологический процесс восстановления конструкций полимер-композитными материалами в зависимости от типа материала и способов выполнения может быть представлена в виде структурной схемы:

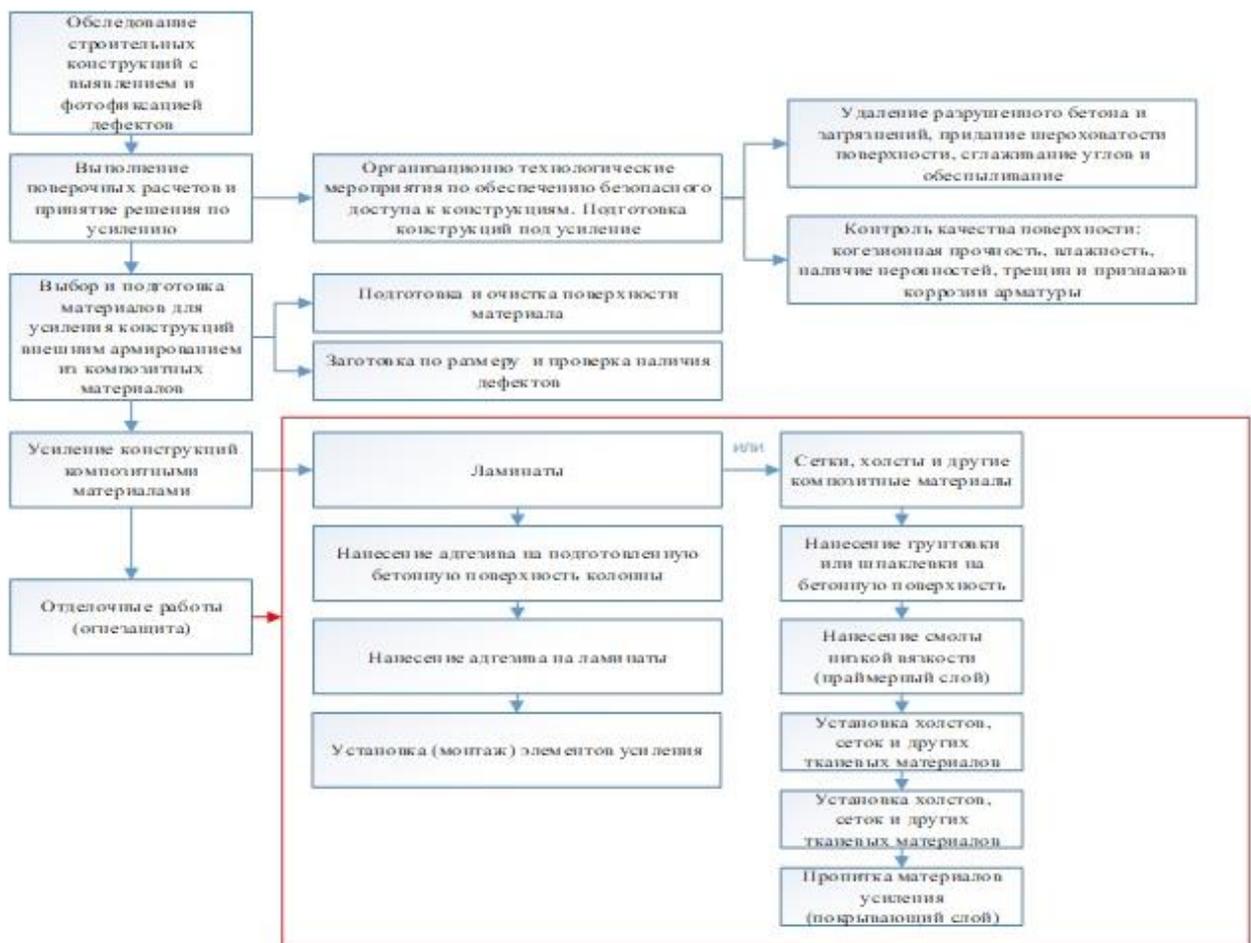


Схема 2. Структурная схема технологического процесса усиления строительных конструкций с применением полимер-композитных материалов.

Усиление строительных конструкций полимер-композитными материалами, как и любой другой метод требует должного контроля качества на всех этапах производства работ, однако в данный момент времени нормативная документация имеет ряд недостатков, связанных с описанием и методиками по обеспечению контроля качества и определению конкретных физико-механических характеристик отдельных композитных материалов и продукции, поступающей на строительные площадки на всех этапах производства работ, включающих:

1. Контроль качества строительных материалов и продукции поступающих на строительную площадку (ГОСТ 24297-2013).
2. Контроль технологических операций и качество производства работ (СП 48.13330.2019).
3. Контроль фактически завершенных работ по восстановлению строительных конструкций (СП 48.13330.2019).

Все описанные выше виды контроля имеют общие формулировки и не адаптированы под конкретные виды технологических операций связанных с восстановлением конструкций композитными материалами.

Ниже в структурной схеме представлена последовательность этапов работ при восстановлении строительных конструкций композитными материалами.

На сегодняшний день технология восстановления строительных конструкций полимер-композитными материалами является одной из самых прогрессивных и технологичных, за счет ряда факторов и технологических особенностей монтажа, однако одним из основных его недостатков является ручной способ производства работ.

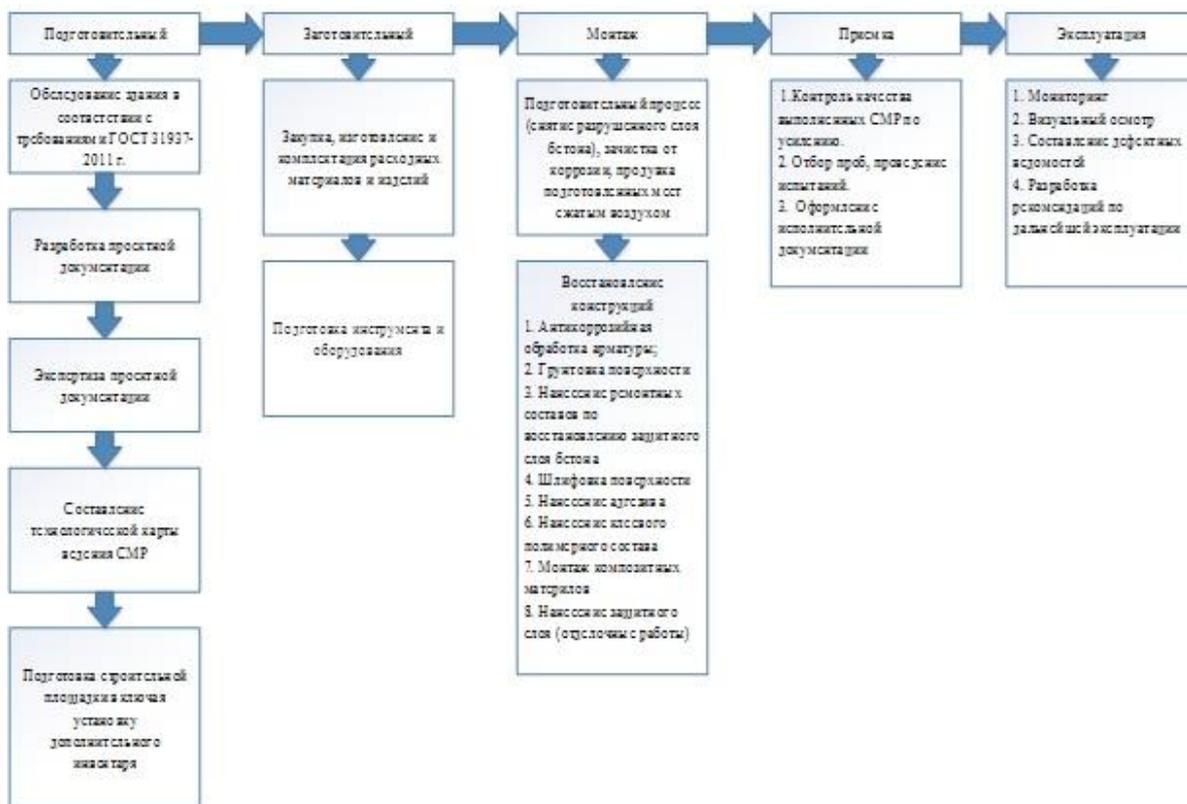


Схема 3. Этапы производства работ по восстановлению строительных конструкций полимер-композитными материалами на современном этапе.

Как видно из структурной схемы и как показывает практический опыт, все перечисленные выше виды работ выполняются ручным способом, требующим больших трудозатрат, дополнительным затратам фонда оплаты труда работникам, что в свою очередь способствует удорожанию данного вида работ, увеличивает затраты на брак и расход материалов, а так же не обеспечивает должный учет ресурсов. Выполняемые операции не включают в себя применение средств малой механизации, способных в несколько раз сократить трудозатраты при производстве работ, снизить риски связанные с нарушением охраны труда и техники безопасности персонала работающего на высоте, обеспечить точность и высокотехнологичность выполнения работ, а применение дополнительной оснастки и организационно технологических приемов и готовых изделий для усиления, значительно снизить затраты на брак и расход материалов.

## Результаты.

Повышение эффективности и развития методов восстановления конструкций полимер-композитными материалами с применением средств малой механизации, применения оснастки и организационно-технологических методов зависит от внедрения полного перечня видов контроля на всех этапах жизненного цикла каждого объекта, разработка технологической последовательности контроля, полного спектра материального-технической и приборной базы для проведения испытаний, применение и совершенствование средств малой механизации. Выполнение данных мероприятий решит большой ряд задач, связанных с производительностью труда, сокращением затрат на брак, снижению сроков ввода в эксплуатацию объектов, безопасностью труда на производстве, не смотря на затраты связанные с закупкой дополнительного оборудования и его эксплуатацией, увеличит экономический эффект за счет снижения брака и сроков производства работ.

Ниже представлена структурная схема №4, которая включает в себя дополнительные разделы, отличающиеся от представленной ранее №3, обеспечивающая применение в технологической цепочке по восстановлению конструкций полимер-композитными материалами, полный перечень контроля качества при производстве работ, а также применение средств малой механизации и дополнительной оснастки.

На основании модернизированной схемы технологии и организации производства работ по восстановлению строительных конструкций полимер-композитными материалами, был произведен расчет затрат времени каждого этапа работ, который позволил выполнить сравнительную оценку временных затрат.

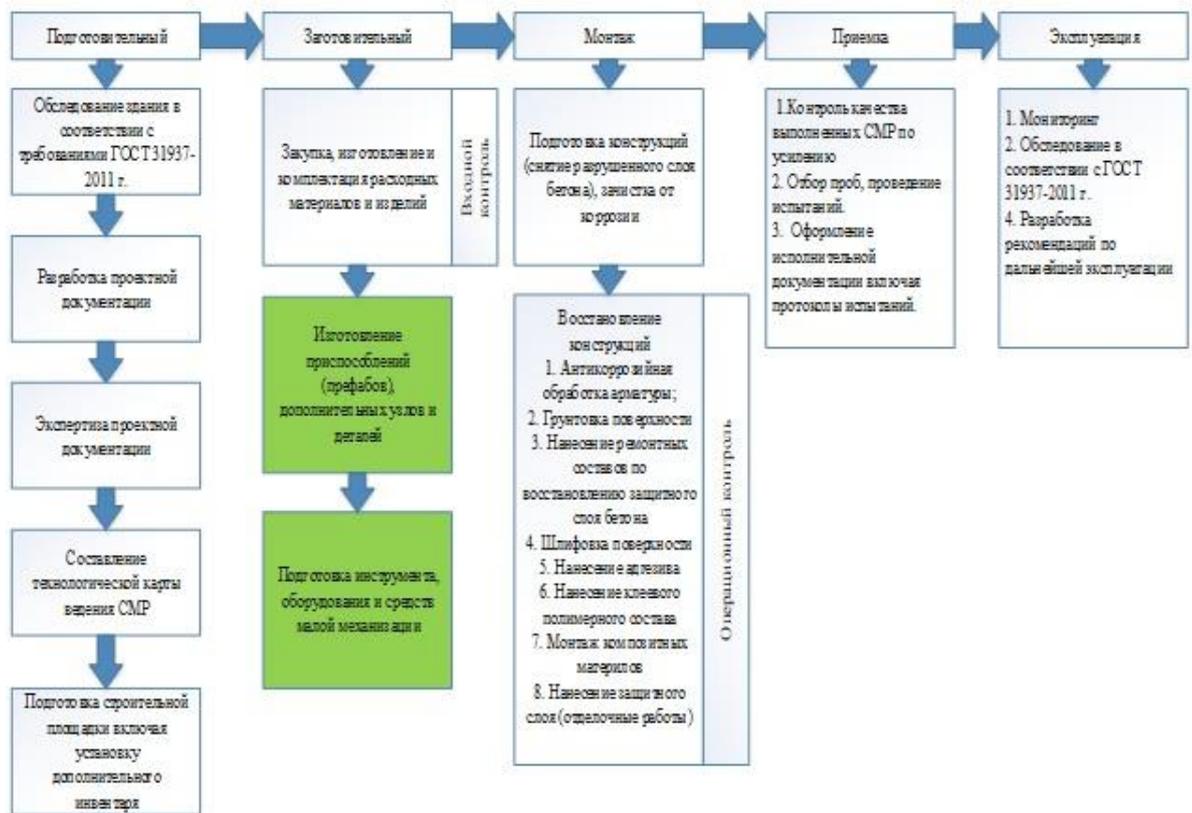


Схема 4. Этапы производства работ по усилению строительных конструкций полимер-композитными материалами с учетом организационно-технологических операций по производственному контролю.



Рис.3. График затрат времени при усилении строительных конструкций ручным способом.

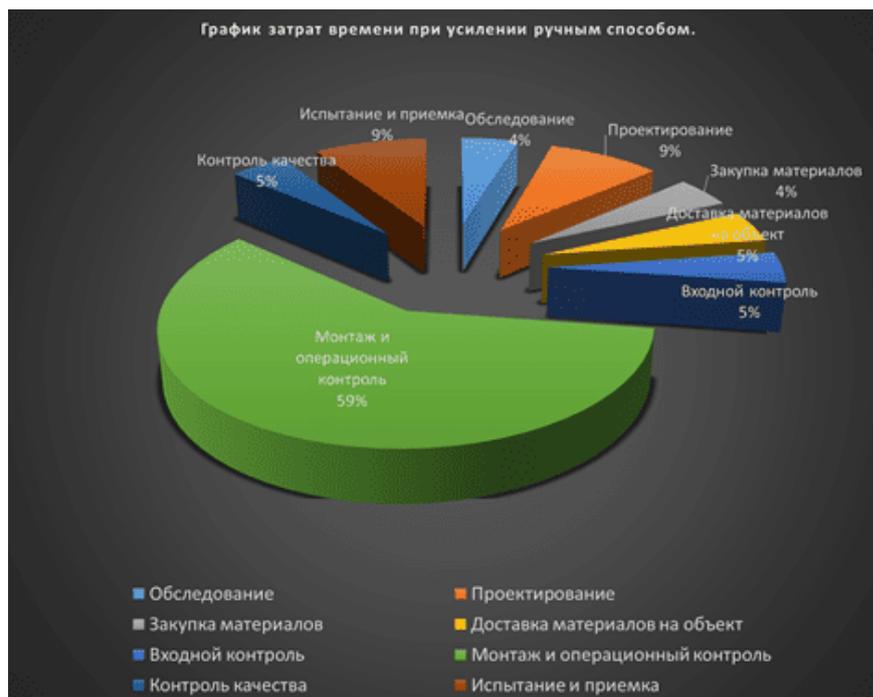


Рис.4. График затрат времени при усилении строительных конструкций средствами малой механизации.

На (рис.3) представлены затраты времени при усилении строительных конструкций ручным способом на основании данных ФЕР 30-08-070-01, а на (рис.4) затраты времени на усиление строительных конструкций с применением средств малой механизации.

### Заключение.

Проанализировав зарубежный и отечественный опыт восстановления строительных конструкций полимер-композитными материалами, а так же традиционные технологические процессы производства работ, можно сделать однозначный вывод, о том, что данный метод получил широкое распространение и имеет значительные перспективы для развития перед другими за счет большого ряда преимуществ, однако проведя анализ производственно-технологических процессов и связанными с ними затрат, а так же показателей результативности, появляется ряд вопросов требующих системного подхода:

1. Повышение производительности.

2. Снижение трудоемкости при производстве работ.
3. Сокращение численности работников участвующих в производственном процессе.
4. Увеличение результативности технологических процессов по восстановлению конструкций композитными материалами.
5. Снижением расхода материалов и сокращение брака.
6. Улучшение условий и безопасности труда.
7. Повышение качества производства работ.
8. Снижение себестоимости.

Для решения данных вопросов и совершенствования технологических процессов по усилению строительных конструкций полимер-композитными материалами, требуется разработка и совершенствование нормативной базы по обеспечению контроля качества на всех этапах жизненного цикла рассматриваемого объекта по усилению, разработка приборной базы для контроля нормируемых показателей полимер-композитных материалов, разработка оснастки и дополнительных приспособлений (префабов) включая средства малой механизации для повышения эффективности и производительности труда. Разработка и совершенствование нормативной базы позволит значительно увеличить темпы дальнейшего развитие технологии восстановления конструкций полимер-композитными материалами, позволит создать достоверный механизм анализа эффективности новых технологических процессов.

### **Литература**

1. Ершов М.Н., Баженов И.А., Еремин Д.В., Топчий Д.В. Организационно-технологические решения при реконструкции общественных зданий, находящихся в режиме эксплуатации. М.: Издательство АСВ, 2013, 168 с.

2. Касимов Р.Г. Дефекты и повреждения строительных конструкций, методы и приборы для их количественной и качественной оценки: учебное пособие; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2016, ISBN 978-5-7410-1806-4. 109 с.
3. Леденёв В. В. Обследование и мониторинг строительных конструкций зданий и сооружений. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. ISBN 978-5-8265-1685-0. 252 с. – 100 экз.
4. Смердов М.Н., Смердов Д.Н., Селиванова Е.О. Отечественный опыт экспериментальных исследований долговечности железобетонных элементов, усиленных полимерными композиционными материалами. Инновационный транспорт. 2015. №2. С. 60–63.
5. Шилин А.А., Зайцев М.В., Картузов Д.В. (ЗАО «Триада-Холдинг»), Пособие по усилению железобетонных конструкций с использованием композитных материалов. М.: Изд-во Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ. 2017. 226 с.
6. Смоляго Г.А., Обернихина Я.Л. Обзор эффективности усиления полимеркомпозитными материалами. Огнестойкость конструкций // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 2. С. 15–27. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-2-15-27.
7. Чернявский В. Л. Современные материалы и технологии ремонта и усиления конструкций мостов. Материалы Всероссийской научно-практической конференции "Современные технические решения по повышению надежности автомобильных дорог и искусственных сооружений" Краснодар, 2001. стр. 199-201.
8. Попов Л.Н. Лабораторные испытания строительных материалов и изделий: Москва : Высш. шк., 1984. - 168 с.: ил.; 21 см.
9. Vikas Singh Kuntal 1, M. Chellapandian 2, S. Suriya Prakash 2 and Akanshu Sharma. Experimental Study on the Effectiveness of Inorganic Bonding Materials for Near-Surface Mounting Shear Strengthening of Prestressed Concrete

Beams. Experimental and Numerical Advancements on Strengthening of Concrete Structures with Fiber Reinforced Polymers). Published: 17 June 2020. Vol. 8. no. 6. p. 40.

10. Изотов В. С., Сабитов Л. С., Мухаметрахимов Р. Х. Основы технологии строительных процессов: учеб. пособие. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2013. 103 с.

11. Леденёв В. В. Обследование и мониторинг строительных конструкций зданий и сооружений: учебное пособие. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017 – 252 с.

### References

1. Ershov M.N., Bazhenov I.A., Eremin D.V., Topchij D.V. Organizacionno-tehnologicheskie reshenija pri rekonstrukcii obshhestvennyh zdaniy, nahodjashhihsja v rezhime jekspluatacii: Monografija. [Organizational and technological solutions for reconstruction of public buildings in operation mode: Monograph]. M.: Izdatel'stvo ASV, 2013. 168 p.

2. Kasimov R.G. Defekty i povrezhdenija stroitel'nyh konstrukcij, metody i pribory dlja ih kolichestvennoj i kachestvennoj ocenki: uchebnoe posobie [Defects and damages of building structures, methods and instruments for their quantitative and qualitative assessment: training manual]. Orenburgskij gos. un-t. Orenburg: OGU, 2016. 109 p. ISBN 978-5-7410-1806-4.

3. Ledenjov V. V. Obsledovanie i monitoring stroitel'nyh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij [Inspection and monitoring of building structures of buildings and structures]: uchebnoe posobie. Tambov: Izd-vo FGBOU VO «TGTU», 2017. 252 p. 100 jekz. ISBN 978-5-8265-1685-0.

4. Smerdov M.N., Smerdov D.N., Selivanova E.O. Innovacionnyj transport. [Domestic experience in experimental studies of the durability of reinforced concrete elements reinforced with polymer composite materials.] 2015. №2. pp. 60–63.

5. Shilin A.A., Zajcev M.V., Kartuzov D.V. (ZAO «Triada-Holding»), Posobie po usileniju zhelezobetonnyh konstrukcij s ispol'zovaniem kompozitnyh materialov. [Manual for strengthening reinforced concrete structures using composite materials.] M.: Izd-vo Ministerstvo stroitel'stva i jilish'no-communal'nogo hozyaistva. 2017. 226 p.
6. Smoljago G.A., Obernihina Ja.L. Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova. 2021. № 2. pp. 15–27. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-2-15-27.
7. Chernjavskij V. L. Sovremennye materialy i tehnologii remonta i usilenija konstrukcij mostov. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Sovremennye tehicheskie reshenija po povysheniju nadezhnosti avtomobil'nyh dorog i iskusstvennyh sooruzhenij. [Modern materials and technologies for repairing and strengthening bridge structures. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference "Modern Technical Solutions to Improve the Reliability of Highways and Artificial Structures"] Krasnodar, 2001. P. 199-201.
8. Popov L.N. Laboratornye ispytaniya stroitel'nyh materialov i izdelij [Laboratory tests of construction materials and products]: [Ucheb. posobie dlja stroit. spec. vuzov. Moskva: Vyssh. shk., 1984.168 p. il.
9. Vikas Singh Kuntal 1, M. Chellapandian 2, S. Suriya Prakash 2 and Akanshu Sharma. Experimental and Numerical Advancements on Strengthening of Concrete Structures with Fiber Reinforced Polymers). Published: 17 June 2020. Vol. 8. no. 6. p. 40.
10. Izotov V. S., Sabitov L. S., Muhametrahimov R. H. Osnovy tehnologii stroitel'nyh processov [Fundamentals of construction process technology]: ucheb. posobie. Kazan': Izd-vo Kazansk. gos. arhitekt.-stroit. un-ta, 2013. 103 p.
11. Ledenyov V. V. Obsledovanie i monitoring stroitel'nyh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij: uchebnoe posobie. [Inspection and monitoring of building structures of buildings and constructions: textbook]. Tambov: Izd-vo FGBOU VO «TGTU», 2017 252 p.

**Дата поступления: 8.11.2024**

**Дата публикации: 14.12.2024**