

## Системное моделирование организационно-технологической надежности ремонта, реставрации и реконструкции объектов культурного наследия

С.Г. Шеина<sup>1</sup>, Л.С. Сабитов<sup>2</sup>, Д.К.-С. Батаев<sup>3</sup>, П.Д. Батаева<sup>3</sup>, Я.Д. Батаева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону

<sup>2</sup>Комплексный научно-исследовательский институт им Х.И. Ибрагимова  
Российской академии наук, Грозный

<sup>3</sup>Казанский федеральный университет, Казань

**Аннотация:** Выполненные исследования показывают, что более 70% сбоев и отказов при производстве ремонтно-восстановительных и реставрационных работ на объектах культурного наследия происходят в результате рассогласованных действий ремонтников и реставраторов. Это связано с тем, что ремонтно-реставрационные работы выполняются в сложных и стесненных условиях на труднодоступных площадках. Поэтому глубокое изучение и научное обоснование технологий ремонтно-реставрационных работ является одним из основных условий повышения эффективности, безопасности и надежности деятельности человека-оператора (ремонтника, реставратора, технических и линейных работников и пр.) в строительной-технической сфере. Надежность и безопасность человеко-машинной системы (ЧМС) важно учитывать при проектировании технологий ремонтно-реставрационных работ, технических систем и устройств для подъема и перемещения грузов в стесненных условиях на труднодоступных площадках. В статье представлен системно-структурный метод, позволяющий рассматривать единую ЧМС как непрерывный ряд образующихся и разрушающихся простых человеко-машинных систем, а простую ЧМС расчленять на подсистемы, подсистемы- на рабочие приемы, действия, микродвижения и пр.

**Ключевые слова:** памятники истории и культуры, объекты культурного наследия, системный метод, системно-структурный анализ, система, безопасность, стесненность.

Человеко-машинная система (ЧМС) является основным структурным элементом технологии ремонтно-реставрационных работ, включающим подсистемы и составляющие подсистем разной информативности и сложности. Обозначенные ЧМС, подсистемы и составляющие подсистем реализуют сложные цепочки технических и технологических регламентов при ремонте, восстановлении и реставрации объектов культурного наследия. Поэтому все виды человеко-машинных систем, подсистем и составляющих подсистем должны быть научно-обоснованными и соответствовать всему комплексу требований, стандартов и нормативов, что особенно актуально на стадии проектирования технологий и технических устройств. В этом

---

заключается одна из главных проблем производства ремонтно-реставрационных работ в сложных и специфических условиях, от комплексной и многоплановой разработки которой зависит эффективность разрабатываемых технологий.

Биотехническая система ремонта, восстановления и реставрации объектов культурного наследия относится к сложноорганизованным динамическим структурам, поэтому данная система должна изучаться на основе системно-структурного метода, который предполагает рассмотрение системы в статике, т.е. вне динамики её реального функционирования, деятельности и развития, включая этапы возникновения, становления, действия, спада, разложения и разрушения [1-3].

Системно-структурный метод предполагает рассмотрение целостности объекта, отрицая при этом обособленное его существование. Проектирование объекта осуществляется с упором на его функции, обеспечивающие выполнение главной задачи системы. Одной из фундаментальных стратегий системно-структурного метода, примененного в настоящих исследованиях, является научное исследование сложноорганизованных систем ремонта, восстановления и реставрации объектов культурного наследия адекватными и познавательными средствами. Только на основе системно-структурного метода и на уровне целостности возможно познание сложных биотехнических комплексов ремонтно-реставрационных процессов, имеющих разный вещественный состав, разное число компонентов, структуру и информационное содержание. Необходимо здесь также отметить, что целое имеет другой, по сравнению с частью, вещественный состав, структуру и свойства - целое не равняется сумме его частей с большим набором разнообразных характеристик [4, 5].

Методическая и методологическая ценность системно-структурного метода заключается в возможности:

---

- структурировать большой массив информации по рассматриваемым системам и комплексам;

- дробить и расчленять сложноорганизованные системы на подсистемы и элементарные составляющие и компоненты подсистем.

Ремонтно-реставрационный процесс в виде человеко-машинной системы - это взаимодействующие упорядоченные и взаимозависимые компоненты, образующие подсистемы и составляющие подсистем, функционирования которых осуществляется взаимосвязями, взаимовлияниями и взаимозависимостями. Только системно-структурным методом можно объективно изучить и исследовать состав и природу компонентов и подсистем, закономерностей их взаимосвязей, взаимовлияний и взаимозависимостей.

Непрерывные процессы ремонта, восстановления и реставрации объектов культурного наследия можно описывать непрерывными функциями  $f(x) = const$  с дискретизацией человеко-машинной системы по уровням, времени, скорости и пр. При этом системно-структурные исследования могут выполняться на описательном, логико-аналитическом и логико-вероятностном уровнях, что предполагает междисциплинарный подход, от которого можно ожидать самый объективный научный синтез в единое целое человека, техники, технологии, среды и определение условий их надёжного и безопасного функционирования. Функционирование человеко-машинной системы, деятельность реставратора (ремонтника), технологический и производственный процессы, операции и приемы при системно-структурном подходе рассматриваются в качестве сложной целостности, что позволяет изучить природу и характер взаимозависимых и взаимовлияющих связей, свойства и состояние системы на разных стадиях ремонта, восстановления и реставрации памятников истории и культуры.

---

Для оценки организационно-технологической надёжности и безопасности системы ЧМС в подсистеме «Ремонтник-Реставратор-Площадка-Технология-Среда» (РРПТС) предполагается интегральный показатель, рассчитываемый в виде средней продолжительности работы РРПТС в оптимальном режиме без отказов и сбоев в работе в течение всего ремонтно-реставрационного процесса. Оценка организационно-технологической надёжности РРПТС производится расчётом и оценкой среднего количества деформаций, сбоев и отказов [6, 7].

С целью моделирования организационно-технологической надёжности и безопасности подсистемы РРПТС определим некий критерий  $\gamma$ . С этой целью примем следующие условные обозначения:

- показатель организационно-технологической эффективности РРПТС с заранее заданными характеристиками деформаций, сбоев и отказов подсистемы -  $\gamma_0$ ;

- показатель организационно-технологической эффективности РРПТС при 100% ее надёжности и безопасности -  $\gamma_H$ .

Тогда показатель организационно-технологической надёжности и безопасности подсистемы РРПТС запишется в виде:

$$\Delta\gamma_{H0} = \gamma_H - \gamma_0 \quad (1)$$

Аналогичным способом рассчитываются показатели, характеризующие устойчивость, помехозащищенность и пр. подсистемы РРПТС.

При организационно-технологическом моделировании сложных РРПТС, включая надёжность, безопасность, устойчивость и помехозащищенность возникают задачи анализа, связанные с изучением свойств, включая организационно-технологические и технические особенности систем и подсистем, и синтеза, связанные с выбором структуры в зависимости от организационно-технологических и технических особенностей РРПТС. При проектировании РРПТС ремонта, восстановления

---

и реставрации объектов культурного наследия рекомендуется решать и задачи анализа, и задачи синтеза в зависимости от конечной цели.

Ремонт, восстановление и реставрация объектов культурного наследия можно определить, как человеко-машинную систему с переменными в виде элементов, блоков, действий и пр. Переменные здесь представляют собой характеристики и свойства объектов или компонентов, входящих в состав системы или подсистемы.

В нашем случае ЧМС можно представить, как «человек-технология-среда», «человек-машина-технология-среда», «человек-машина-местность-технология» или в других комбинациях самых важных компонентов.

Ремонтник и реставратор рассматриваются в подсистеме как биологическое существо для управления технологией ремонтно-реставрационных работ, поэтому их относят к операторам. Понятие технология означает все, что стоит между ремонтником или реставратором и объектом культурного наследия.

Для подсистемы РРПТС можно выделить три класса функций: технологические функции, выполняемые машинами, механизмами и оборудованием; функции, выполняемые реставратором (ремонтником); функции, выполняемые как машинами, механизмами и оборудованием, так и ремонтниками и реставраторами.

Технологический процесс ремонта, восстановления и реставрации объектов культурного наследия рассматривается как целенаправленная деятельность человека-оператора (ремонтника, реставратора), как последовательный ряд образующихся, функционирующих и разрушающихся систем, подсистем и составляющих подсистем разного состава, структуры и свойств, которые подразделяются на крупные подсистемы, мелкие подсистемы и основные компоненты [8-10].

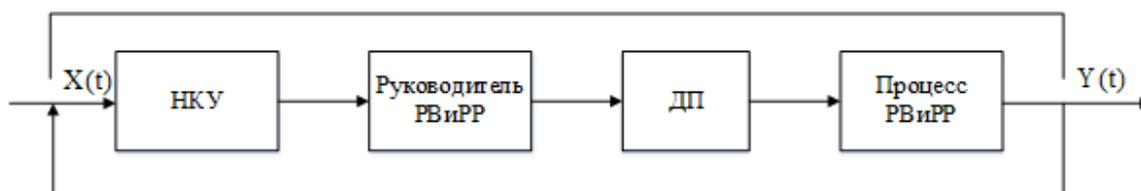
---

Ремонтно-реставрационный процесс можно рассматривать как последовательность смены состояния РРПТС во времени и пространстве, которая соответствует функционированию подсистемы при выполнении конкретной задачи, или при выполнении или достижении цели. Поведение и функционирование РРПТС определяется параметрами: вход ( $X(t)$ ), процесс, управление и выход ( $Y(t)$ ) (Рис. 1).

В структуре РРПТС существуют 3 типа связей:

- связи первого порядка (функционально необходимые);
- связи второго порядка (дополнительные);
- связи третьего порядка (случайные).

Природой, структурой и разнообразием связей определяется сложность РРПТС. Разрывом и деформацией связей обусловлены сбои и отказы подсистемы.



НКУ – наблюдаемые и контролируемые устройства;

РВиРР – ремонтно-восстановительные и реставрационные работы;

ДП – диспетчерский пункт;

$X(t)$  – входной сигнал;

$Y(t)$  – выходной сигнал.

Рис. 1 – Структурная схема системы РРПТС

Как видно из рисунка 1 основными параметрами подсистемы РРПТС являются вход ( $X(t)$ ), процесс, выход ( $Y(t)$ ) и обратная связь, образующая замкнутый контур и обеспечивающая передачу сигнала  $Y(t)$  на  $X(t)$ .

$$X(t) = S(t) + N(t) \quad (2)$$

где  $S(t)$  – полезный сигнал,

$N(t)$  – помехи.

На рисунке 2 представлена обобщённая схема технологии монтажа и демонтажа грузоподъемных устройств и средств доступа к реставрируемым конструктивам.

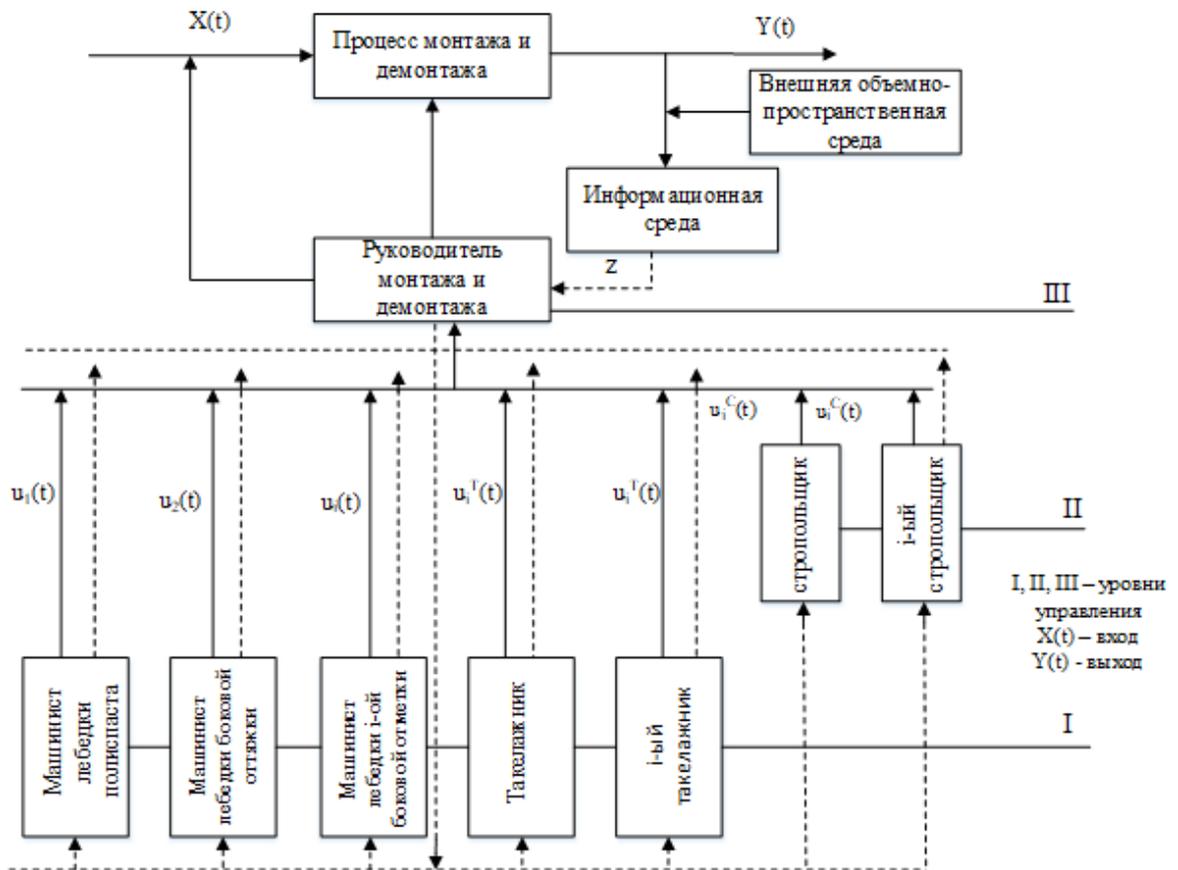


Рис. 2 – Обобщенная схема технологии монтажа грузоподъемных устройств и демонтажа средств доступа к реставрируемым конструктивам

-  $X(t) = \sum X_i(t)$  – входной сигнал (усилия, прогибы, углы отклонения и пр.);

-  $U_i(t) = U_iT(t), U_iC(t)$  – действия, анализируемые руководителем;

-  $U_i(t): U_iT(t): U_iC(t) \rightarrow Y(t)$  – действия, формирующие выходной сигнал  $Y(t)$ .

Система РРПТС содержит составляющие подсистемы, представленные на рисунке 3.

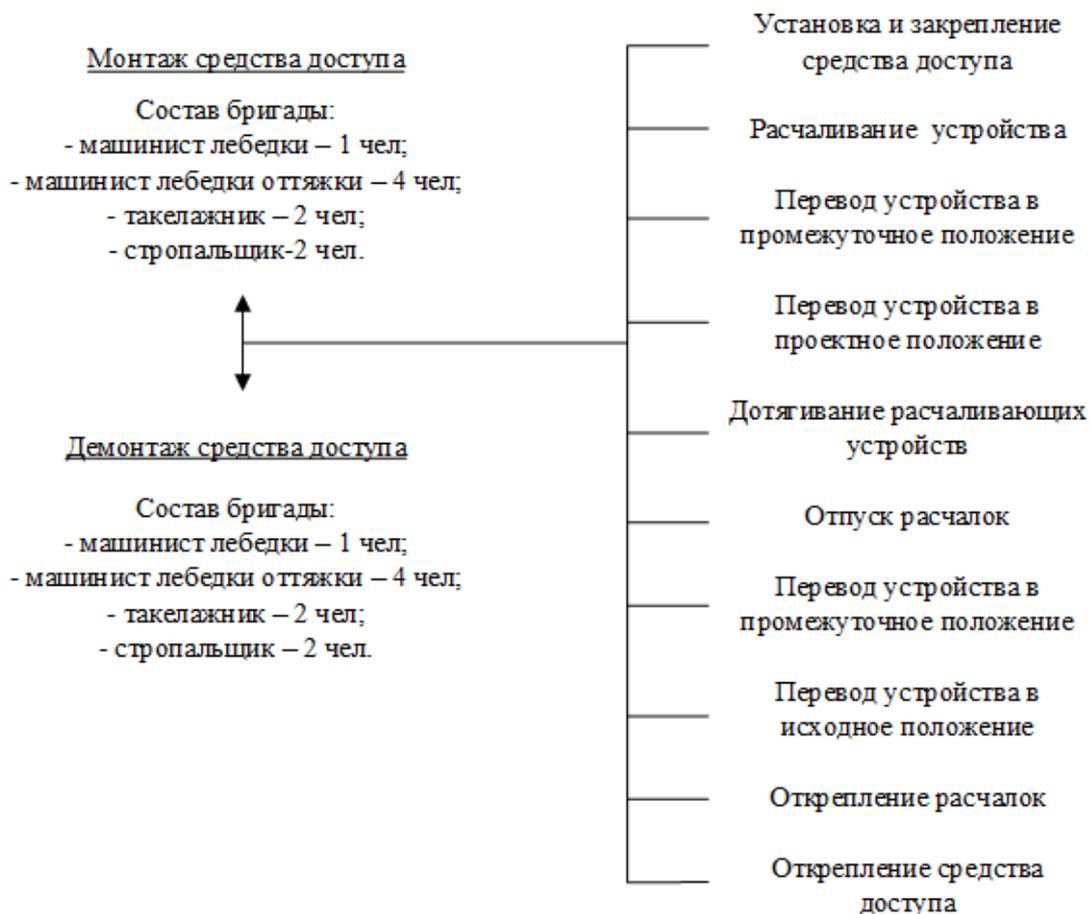


Рис. 3 – Обобщенная схема сопряжения элементов РРПТС процесса монтажа и демонтажа грузоподъемных устройств и средств доступа

Таким образом, главным условием функционирования подсистемы РРПТС является наличие связей: информационных, физических и случайных, оценка которых позволит разработать математическую модель стесненности при производстве ремонтно-реставрационных работ. Сложность РРПТС определяется разнообразием, природой и структуры этих связей. Сбои и отказы РРПТС связаны с разрывом информационных, взаимозависимых (физических) и случайных связей их деформацией и отсутствием.

## Литература

1. Шеина С.Г., Батаева П.Д., Абдуллаев М.А-В. Особенности башенной архитектуры Северного Кавказа // Вестник Комплексного научно-исследовательского института им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук. 2021. № 5. С. 41-48.
  2. Чахкиев Д.Ю. Древности Горной Ингушетии. Том II. ГП КБР РПК. 2009. С. 94.
  3. Ильясов Л.Ч. Тени вечности: чеченцы: материальная культура, история, духовные ценности. М.: «Пантори», 2004. С. 384.
  4. Баженов Ю.М., Батаев Д.К-С., Муртазаев С-А.Ю. Ресурсо- и энергосберегающие технологии и материалы для ремонта восстановления зданий и сооружений. М.: «Комтех-Принт», 2006. С. 375.
  5. Шеина С.Г., Аль-Фатла А.Н.М., Понеделко А.Ф., Грабовская В.Н. Организационно-технологические подходы проведения экспертизы качества и объема выполненных строительных работ // Инженерный вестник Дона, 2022, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7444](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7444).
  6. Букунов А.С., Нурулин Ю.Р. Экологическая оценка жизненного цикла зданий на основе BIM // Инженерный вестник Дона, 2020, №5. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2020/6464](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2020/6464)
  7. Беляев А.В., Антипов С.С. Жизненный цикл объектов строительства при информационном моделировании зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство, 2019, № 1, С. 65-72.
  8. Tomaszewski A. Politika ochrony dóbr kultury w polsce // Ochrona zabytków. 1995. № 3-4. pp. 249-252.
  9. Mamillan M. The monument of 1 water in the murse annals of 1 Technical Institute of Building and Public Works. 1966. pp. 132-141.
  10. Шеина С.Г., Батаев Д.К-С., Даукаев А.А., Батаева П.Д., Батаев А.Д. Ресурсный потенциал горной части Чеченской Республики для производства
-



современных ремонтно-реставрационных вяжущих и составов //  
Инженерный вестник Дона, 2023, №9. URL:  
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8670

### References

1. Sheina S.G., Bataeva P.D., Abdullaev M.A-V. Vestnik Kompleksnogo nauchno-issledovatel'skogo instituta im. Kh.I. Ibragimova Rossiyskoy akademii nauk. 2021. № 5. p. 41-48.
2. Chakhkiev D.Yu. Drevnosti Gornoy Ingushetii. [The antiquities of mountainous Ingushetia] V. II. GP KBR RPK. 2009. p. 94.
3. Ilyasov L.Ch. Teni vechnosti: chechency: material'naya kul'tura, istoriya, duxovny'e cennosti/ Rossijskaya Akademiya nauk [Shadows of eternity: Chechens: material culture, history, spiritual values]. M.: «Pantori» 2004. p. 384.
4. Bazhenov Yu.M., Bataev D.K-S., Murtazaev S-A.Yu. Resurso- i energosberegayushchie tekhnologii i materialy dlya remonta vosstanovleniya zdaniy i sooruzheniy. [Resource- and energy-saving technologies and materials for the repair and restoration of buildings and structures] M.: «Komtekh-Print», 2006. p. 375.
5. Sheina S.G., Al'-Fatla A.N.M., Ponedelko A.F., Grabovskaya V.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7444.
6. Bukunov A.S., Nurulin Yu.R. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2020/6464
7. Belyaev A.V., Antipov C.C. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, 2019, № 1, p. 65-72.
8. Tomaszewski A. Ochrona zabytków. 1995. № 3-4. p. 249-252.
9. Mamillan M. Technical Institute of Building and Public Works. 1966. p. 132-141.



10. Sheina S.G., Bataev D.K-S., Daukaev A.A., Bataeva P.D., Bataev A.D.  
Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №9. URL:  
[ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8670](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2023/8670).

**Дата поступления: 10.12.2024**

**Дата публикации: 25.01.2025**