

УДК 621.1

doi: 10.53816/23061456_2025_11-12_53

**К ВОПРОСУ О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ
МОНИТОРИНГА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДЗЕМНЫХ СПЕЦИАЛЬНЫХ
ФОРТИФИКАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**ON THE ADVISABILITY OF USING MONITORING SYSTEMS TO CONTROL
THE TECHNICAL CONDITION OF UNDERGROUND SPECIAL FORTIFICATION
STRUCTURES**

Д-р техн. наук Н.Н. Гусев, канд. техн. наук С.А. Мачнев, Д.А. Эльцофон

D.Sc. N.N. Gusev, Ph.D. S.A. Machnev, D.A. Eltsofon

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

Статья посвящена целесообразности применения систем автоматизированного мониторинга для контроля технического состояния строительных (защитных) конструкций подземных специальных фортификационных сооружений (СФС). В работе определена роль достоверности и оперативности получения данных о техническом состоянии строительных конструкций подземных СФС. Сформулирована зависимость степени разрушения конструкций подземных фортификационных сооружений как функции изменения нагрузки и деформации. Установлена функциональная взаимосвязь основных параметров СФС от величины деформации их защитных конструкций. Предложен новый подход по оперативному сбору информации об изменении величины нагрузки и деформации защитных конструкций подземных СФС.

Ключевые слова: специальные фортификационные сооружения, подземные фортификационные сооружения, живучесть, степень защиты, струнный датчик, степень разрушения (повреждения) конструкций.

The article is devoted to the expediency of using automated monitoring systems to control the technical condition of construction (protective) structures of underground special fortifications (SF). The paper defines the role of reliability and timeliness of obtaining data on the technical condition of underground SF. The dependence of the degree of destruction of underground fortification structures as a function of load and deformation changes is formulated. A functional relationship between the main parameters of the SF and the magnitude of deformation of their protective structures has been established. A new approach is proposed for the rapid collection of information on changes in the load (pressure) and deformation of protective structures of underground SF.

Keywords: special fortifications, underground fortifications, survivability, degree of protection, string sensor, degree of destruction (damage) of structures.

Введение

Подземное строительство сооружений специального назначения — важное направле-

ние деятельности человека, которое заключается в освоении и использовании подземного пространства — сложной и часто не предсказуемой в своем поведении среды. Особое место

подземное строительство занимает в военном деле, так как развитие средств поражения, рост их разрушительной мощи, точности и количества привели к тому, что для обеспечения наибольшей защиты от воздействия их поражающих факторов специальные фортификационные сооружения (СФС) и специальные объекты (СО) в подавляющем большинстве случаев располагаются под защитной толщей земли. Современный опыт эксплуатации показывает: с одной стороны, перспективность дальнейшего развития подземного строительства защитных объектов как практически безальтернативного способа защиты личного состава, вооружения, техники, оборудования от поражающих факторов современных и перспективных средств поражения, а с другой — несовершенство методов и методик данной отрасли науки, обеспечивающих в том числе:

– накопление достоверной информации о работе защитных конструкций подземных СФС и СО как в повседневном режиме эксплуатации, так и при действии особых нагрузок и воздействий;

– оперативное определение категории технического состояния строительных конструкций подземных СФС и СО, и своевременное проведение комплекса мероприятий по поддержанию и восстановлению их работоспособности;

– достоверное прогнозирование дальнейшего изменения технического состояния защитных конструкций и степени защиты подземных специальных фортификационных сооружений ПСФС, позволяющее перейти от реактивного (аварийного) и профилактического (планово-предупредительного) подхода в эксплуатации объекта к предиктивному (предсказательному);

– успешное проведение мероприятий по борьбе за живучесть подземных СФС и СО при авариях и особых нагрузках и воздействиях.

В статье проведен анализ указанных выше проблем и выработаны рекомендации по их устранению.

Анализ проблемной ситуации и постановка задач

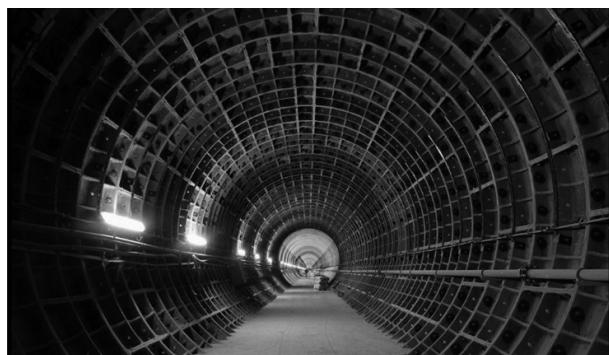
При возведении обделки подземных защитных сооружений применяются металлические или железобетонные тюбинги (рис. 1).

Характерной чертой подземных СФС и СО является их применение в двух режимах эксплуатации, отличающихся характером задачи и методами их решения:

- 1) повседневный режим эксплуатации;
- 2) эксплуатация в условиях действия особых нагрузок и воздействий.

В первом случае эксплуатация осуществляется в мирное время и в военное до появления угрозы применения противником оружия по объекту. Данный режим характеризуется большой продолжительностью и определенностью по характеру и объему выполняемых работ.

Второй случай СФС и СО возникает при возникновении угрозы применения противником средств поражения, продолжается при непосредственном воздействии противника и после него, до окончания ликвидации последствий воздействия. Данный режим осуществляется в относительно короткие сроки, носит случайный, неопределенный характер по времени, объемам и видам выполняемых работ в условиях ограниченных материально-технических ресурсов.



a



б

Рис. 1. Тюбинговая обделка ПСФС: *а* — металлическая; *б* — железобетонная

Ключевым в данной формулировке являются «короткие сроки» на выполнение «неопределенного объема работ» по ликвидации последствий воздействия. Особенно остро данный вопрос встает при возможности повторного (многократного) удара по объекту, что в случае отсутствия оперативной и достоверной информации о ключевых параметрах технического состояния сооружения неизбежно приведет к катастрофическим последствиям с большими людскими и материальными потерями.

Важно учитывать, что любому виду воздействия на СФС и СО будет предшествовать многолетний режим повседневной эксплуатации. Даже в мирное время строительные конструкции подземных СФС подвергаются разрушающим воздействиям различной природы: действию «горного давления», воды, агрессивных сред, бактерий [2], тектонических разломов [3], перепадов температур, вибраций от работы внутреннего оборудования, сейсмических явлений (как тектонических, так и техногенных) и т.д. Также немало важным является учет неправильной эксплуатации строительных конструкций, возможной в связи с совокупностью целого ряда факторов: старение, выход из строя и несвоевременная замена инженерного оборудования, поддерживающего нормальный внутренний климат (система вентиляции, обогрева, дренажа и т.д.), недостаточная численность и квалификация личного состава, несущего службу на СФС и др. В условиях же действия особых нагрузок на защиту технологического комплекса, технических систем и личного состава осуществляют, в первую очередь, именно строительные конструкции, к которым, исходя из выше изложенного, должны предъявляться особые требования при проектировании, расчете и эксплуатации.

Проектирование и расчет СФС, в части касающейся строительных конструкций, осуществляется в рамках выполнения трех групп требований [7]:

- тактико-технических (ТТТ);
- эксплуатационно-технологических (ЭТТ);
- общестроительных (ОТ),

которые включают в себя требования по обеспечению:

живучести (вероятности функционирования) СФС в целом;

восстановления боеспособности функционирования СФС после воздействия средств по-

ражения противника или воздействия техногенных и природных поражающих факторов в мирное время;

технико-экономической и военно-экономической эффективности создания, эксплуатации, боевого применения, реконструкции и восстановления боевой способности (после воздействия поражающих факторов средств поражения, техногенных аварий и стихийных бедствий) СФС;

норм и правил эксплуатации строительных конструкций, соответствующих функционально-технологическому процессу эксплуатации СФС;

ремонтопригодности и ремонтовосстановляемости строительных конструкций;

восстановления эксплуатационной пригодности строительных конструкций путем планового текущего ремонта в процессе эксплуатации СФС;

капитальности и долговечности строительных конструкций.

Одним из фундаментальных понятий, которое содержится в приведенном выше перечне требований, является «живучесть» СФС. Под «живучестью» понимается вероятностная мера сохранения способности выполнения СФС функциональной задачи после расчетного воздействия средств поражения противника или поражающих факторов техногенных аварий и природных стихийных бедствий с учетом восстановления боевой способности [4]. При этом в первую очередь [1] она определяется прочностью строительных конструкций, которые в условиях действия особых нагрузок и воздействий выполняют основную задачу по обеспечению живучести СФС.

Все вышеизложенное подтверждает необходимость более глубокого исследования вопроса в области предоставления оперативной и достоверной информации о текущем техническом состоянии строительных конструкций подземных фортификационных сооружений, ее последующей обработке и анализу, и идентификации проблемных мест. При этом главной сложностью контроля их технического состояния является отсутствие возможности обеспечить к ним внешний доступ с целью проведения обследования (мониторинга). Это накладывает серьезные ограничения на число параметров, доступ-

ных для измерения. В условиях же действия особых нагрузок и воздействий немаловажным фактором также станет время, затрачиваемое на определение этих параметров, обработку полученных данных и принятие решения на организацию ремонтно-восстановительных (или аварийно-спасательных) работ, особенно в случаях многократного поражения объекта. Это определяет постановку двух основных вопросов.

1. Какие именно параметры состояния строительных конструкций требуется контролировать?

2. Какой метод контроля параметров состояния строительных конструкций обеспечит наибольшую эффективность?

Установление необходимых параметров контроля

Выделяют два возможных варианта воздействия на СФС: расчетное и сверхрасчетное. Соответственно, последствия воздействия также будут зависеть от его уровня. При расчетном воздействии поведение конструкций СФС, их напряженно-деформированное состояние носит прогнозируемый и предсказуемый характер, и, как правило, не приводит к снижению боевой готовности.

Иначе обстоят дела при сверхрасчетном воздействии. При превышении воздействия расчетных значений конструкции СФС получают повреждения, приводящие к разрушениям, снижению или полной потери их боевой готовности, и требуют проведения соответствующего объема аварийно-восстановительных работ (АВР).

Степень разрушения (слабая, средняя, сильная) конструкций подземных фортификационных сооружений может быть установлена путем сопоставления фактической величины избыточного давления приходящей сейсмовзрывной волны $\Delta p_{\text{свв}}$ с фактической степенью защиты СФС $\Delta p_{\text{с3}}$ [1]:

– сильная степень разрушения

$$\Delta p_{\text{свв}} > 1,5 \Delta p_{\text{с3}};$$

– средняя степень разрушения

$$\Delta p_{\text{свв}} > 1,15 \dots 1,35 \Delta p_{\text{с3}};$$

– слабая степень разрушения

$$\Delta p_{\text{свв}} < 1,15 \Delta p_{\text{с3}}.$$

Взаимосвязь степени повреждения и категории технического состояния строительных конструкций СФС [1] приведены в таблице.

Таким образом, исходя из сведений, приведенных в зависимостях (1) и в таблице, ключевыми параметрами определения категории технического строительных конструкций подземных фортификационных сооружений, степени их повреждения (разрушения) и снижения несущей способности (от расчетной) являются приходящее на них давление и величина их деформации. При этом в зависимостях (1) следует учитывать следующее.

В соответствии с [7] срок эксплуатации подземных СФС может достигать 100 лет и более. В течение указанного срока геотехническая обстановка в районе дислокации объекта может претерпевать значительные изменения, что, в свою очередь, будет приводить к отклонению значения величины горного давления, действующего на подземное сооружение, от расчетного. Как следствие, это приведет к снижению проектной степени защиты на величину изменения значения горного давления $\Delta p_{\text{роп}}$.

В связи с длительными сроками эксплуатации неизбежно будут происходить деструктивные процессы влияния агрессивных компонентов окружающей среды на все элементы (в том числе обделку) подземного СФС (рис. 2), следствием чего станет снижение допустимой нагрузки на нее.

При многократных воздействиях возможно накопление ущерба и, соответственно, снижение степени защиты СФС.

Анализ аналитических методов оценки параметров СФС

При проектировании защитных конструкций подземных фортификационных сооружений закладывается предельное состояние их работы по деформации в виде параметра $K_{\text{пр.с}}$ [5], который характеризует собой отношение реальных деформаций защитных конструкций ε к упругим деформациям $\varepsilon_{\text{упр}}$:

$$K_{\text{пр.с}} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{\text{упр}}}, \quad (2)$$

Таблица 1

**Взаимосвязь степени повреждения
и категории технического состояния строительных конструкций СФС**

Степень повреждения (разрушения)	Снижение несущей способности от расчетной, %	Характерные признаки повреждений (разрушений) строительных конструкций и их элементов	Категория технического состояния, необходимые меры по обеспечению функционирования
I	0÷10	Работа конструкций в упругой стадии	Исправное
II	10÷40	Работа конструкций за пределом упругости	Работоспособное. Необходимы аварийно-восстановительные работы
III	40÷70	Прогибы превышают предельно допустимые. Вывалы бетона из конструкций. Разгерметизация СФС	Ограниченно работоспособное. Необходимы аварийно-восстановительные работы в больших объемах
IV	70÷90	Полная потеря несущей способности отдельных конструкций и их обрушение	Недопустимое
V	90÷100	Конструкции СФС в основном разрушены	Полностью выведено из строя

Примечание: I — отсутствие повреждений; II — слабая; III — средняя; IV — сильная; V — полное разрушение



Рис. 2. Результат действия различных агрессивных компонентов окружающей среды на элементы подземных сооружений

Количественные значения показателя предельного состояния $K_{\text{пп.с}}$ нормируются с учетом степени разрушения (поражения) объекта следующим образом [5]:

– непоражение (упругая деформация защитных конструкций): $K_{\text{пп.с}} \leq 1$;

– слабая степень поражения (незначительная упруго-пластическая деформация, появляются микротрещины в бетоне железобетонных защитных конструкций в растянутой зоне): $1 < K_{\text{пп.с}} \leq 2$;

– средняя степень поражения (существенная упруго-пластическая деформация, возникают микротрещины в бетоне железобетонных защитных конструкций в растянутой и сжатой зонах):

$$2 < K_{\text{пп.с}} \leq 4 ;$$

– сильная степень поражения (предельная упруго-пластическая деформация, возникает расслоение бетона в растянутой зоне в железобетонных защитных конструкциях):

$$4 < K_{\text{пп.с}} \leq 5 .$$

Аналитические методы оценки живучести объектов (целей) при воздействии средств поражения приведены в [5].

Рассмотрим случай поражения точечной цели и кратности поражения n . Для данного случая имеем следующие зависимости:

$$Q_i = e^{-\alpha_i} ; \quad (3)$$

$$\begin{aligned} P_i &= 1 - Q_i = 1 - e^{-\alpha_i}; \\ Q &= \prod_{i=1}^n Q_i = e^{-\sum_{i=1}^n \alpha_i}; \\ P &= 1 - Q = 1 - e^{-\sum_{i=1}^n \alpha_i}, \end{aligned} \quad (4)$$

где P_i и Q_i — соответственно вероятность поражения и живучести объекта (цели) при i -м воздействии средств поражения;

α_i — уязвимость цели при i -м воздействии средств поражения:

$$\alpha_i = \left(\rho \frac{R_{\Pi(i)}}{E} \right)^2, \quad (5)$$

где $R_{\Pi(i)}$ — радиус поражения при i -м воздействии средств поражения, м:

$$R_{\Pi(i)} = q_i^{\frac{1}{3}} \left(\frac{A}{\Delta p_{c3(i)}} \right)^{\frac{1}{v}}, \quad (6)$$

$\Delta p_{c3(i)}$ — степень защиты цели при i -м воздействии средств поражения, kgs/cm^2 ;

A, v — постоянные, определяемые следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{A}{v} = \frac{5040}{2,71} & \text{при } 0,5 \leq \Delta p_{c3} \leq 3000 \text{ кгс/см}^2; \\ \frac{A}{v} = \frac{216}{1,61} & \text{при } 0,01 \leq \Delta p_{c3} \leq 0,5 \text{ кгс/см}^2 \end{cases},$$

E — круговое вероятное отклонение (КВО) средства поражения;

ρ — постоянная функции Лапласа нормального закона распределения, ($\rho \approx 0,4679$);

q_i — мощность взрыва i -го средства поражения в тротиловом эквиваленте, тс.

Степень защиты при i -м воздействии средства поражения может быть определена следующим образом:

$$\Delta p_{c3(i)} = \Delta p_{c3(1)} e^{-\beta_{c3}(i-1)}, \quad (7)$$

где $\Delta p_{c3(1)}$ — степень защиты цели, определяемая для первого воздействия средства поражения (проектная или фактическая с учетом реального технического состояния), kgs/cm^2 ;

β_{c3} — интенсивность изменения защищенности цели.

При заданной в проекте (или принимаемой исходя из реальных условий) кратности воздействия средств поражения K_{kp} и определенного предельного состояния $K_{np,c}$ получаем:

$$\beta_{c3} = \frac{1}{K_{kp}} \ln(K_{np,c}), \quad (8)$$

Подставляя формулу (8) в зависимость (7) и с учетом выражения (2) получаем аналитическую зависимость для определения степени защиты объекта при i -м воздействии средств поражения как функцию величины деформации защитных конструкций:

$$\Delta p_{c3(i)}(\varepsilon) = \frac{\Delta p_{c3(1)}}{\left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{upr}} \cdot i^{\frac{v}{2}} \right)^{\frac{(i-1)}{K_{kp}}}}, \quad (9)$$

Используя полученную зависимость (9) в (6) и учитывая зависимости (3), (4) и (5) получаем значения живучести и вероятности поражения объекта (цели) при кратности поражения n :

$$Q = \exp \left[-\sum_{i=1}^n i \cdot \left(\left(\frac{A \cdot \left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{upr}} \cdot i^{\frac{v}{2}} \right)^{\frac{(i-1)}{K_{kp}}} \right)^{\frac{1}{v}}}{\Delta p_{c3(1)}} \right)^2 \frac{\rho \cdot q_i^{\frac{1}{3}}}{E} \right), \quad (10)$$

$$\begin{aligned} P &= 1 - \\ &- \exp \left[-\sum_{i=1}^n i \cdot \left(\left(\frac{A \cdot \left(\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{upr}} \cdot i^{\frac{v}{2}} \right)^{\frac{(i-1)}{K_{kp}}} \right)^{\frac{1}{v}}}{\Delta p_{c3(1)}} \right)^2 \frac{\rho \cdot q_i^{\frac{1}{3}}}{E} \right) \right]. \end{aligned} \quad (11)$$

Так же, если подставить результат выражения (9) в неравенство (1), то получим уточненное значение степени разрушения конструкций СФС при многократном их поражении.

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать следующий вывод: для достоверного определения технического состояния строительных конструкций, степени защиты и живучести подземных фортификационных

сооружений необходимо в первую очередь обладать информацией о приходящей на строительные конструкции нагрузке (давлении) и величине их деформации. В условиях же действия особых нагрузок и воздействий не мало важным фактором также является оперативность определения этих параметров, особенно в случаях многократного поражения объекта, когда борьба за живучесть СФС принимает наиболее критический характер и требует максимально оперативной и достоверной информации о техническом состоянии всех систем сооружения, в том числе строительных конструкций.

Методы и средства контроля параметров технического состояния

Под «борьбой за живучесть» специальных фортификационных сооружений, в том числе подземных защитных сооружений, понимается совокупность действий эксплуатационного персонала и персонала технологических систем (гарнизона сооружения), направленных на поддержание (восстановление) максимально возможной степени боеспособности сооружения при авариях и действии особых нагрузок и воздействий [1].

В частности, борьба за живучесть технических средств и СФС включает:

- обнаружение повреждений (аварий) и оповещение о них;
- ограничение (локализация) распространения повреждений (аварий);
- ликвидация повреждений (аварий);
- восстановление максимально возможной степени боеспособности СФС.

Рассмотреть все возможные сценарии воздействия средств поражения (мощность взрыва боеприпаса, их количество, точность попадания, интервал времени между воздействиями и т.д.), все ситуации, которые могут произойти после воздействия, учесть все факторы, влияющие на развитие событий в том, или ином направлении, невозможно. Вследствие этого, все аналитические расчеты параметров СФС носят лишь вероятностный характер, что сильно сказывается на достоверности информации о них.

Для получения объективных сведений о состоянии конструкций подземных фортификационных сооружений во всех режимах и на

протяжении всего срока их эксплуатации необходимо проводить их обследование и мониторинг.

В основе эксплуатации и обследовании специальных объектов и специальных фортификационных сооружений, в которые входят в том числе и подземные защитные сооружения, лежат следующие нормативные документы:

- Федеральный закон от 29 декабря 2004 года № 191-ФЗ (редакция, действующая с 01 февраля 2024 года) «Градостроительный кодекс Российской Федерации» [6];
- СП 255.1325800.2016. «Свод правил. Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения» [7];
- ГОСТ 31937–2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния [8];
- ГОСТ 32019–2012. Мониторинг технического состояния уникальных зданий и сооружений. Правила проектирования и установки стационарных систем (станций) мониторинга [9];
- Федеральный закон от 30 декабря 2009 года № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [10];
- ГОСТ 27751–2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения [11].

В соответствии с [6–11] мониторинг технического состояния СФС проводят для:

- контроля технического состояния СФС и своевременного принятия мер по устранению возникающих негативных факторов, ведущих к ухудшению этого состояния;
- выявления объектов, на которых произошли изменения напряженно-деформированного состояния несущих конструкций, и для которых необходимо обследование их технического состояния;
- обеспечения безопасного функционирования СФС за счет своевременного обнаружения на ранней стадии негативного изменения напряженно-деформированного состояния конструкций, грунтов оснований и вмещающего горного массива, которые могут повлечь переход объектов в ограниченно работоспособное или в аварийное состояние;
- отслеживания степени и скорости изменения технического состояния объекта и принятия в случае необходимости экстренных мер по предотвращению его обрушения.

При этом при выборе системы наблюдений учитывают цель проведения мониторинга, а также скорости протекания процессов и их изменение во времени, продолжительность измерений, ошибки измерений, в том числе за счет изменения состояния окружающей среды [2, 3], а также влияния помех, аномалий природно-техногенного характера (в режиме повседневной эксплуатации) и воздействия средств поражения противника.

Полученные зависимости в (1), (9), (10), (11) показывают, что обладая оперативной информацией о реальном значении величины нагрузки (давления) и деформации защитных конструкций СФС, можно в любой момент времени (в том числе в условиях действия особых нагрузок и воздействий) оценить изменение несущей способности, степени защиты и вероятности поражения и живучести объекта. С этой целью по мнению авторов целесообразно применение стационарной автоматизированной системы мониторинга контроля технического состояния защитных конструкций подземных фортификационных сооружений.

Традиционный состав системы мониторинга технического состояния строительных конструкций представлен на рис. 3.

При этом все элементы каждого комплекта автоматизированной системы мониторинга технического состояния строительных конструкций, включающего в себя первичные преобразо-

ватели (датчики), вторичную аппаратуру, кабельные сети, вычислительный центр и программный комплекс, должны быть сконструированы и адаптированы под реальные условия эксплуатации подземного фортификационного сооружения во всех режимах его эксплуатации.

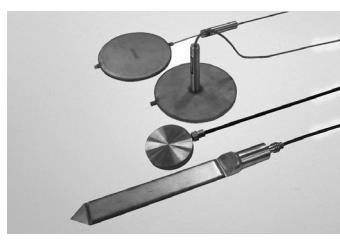
Для контроля величины деформации защитных конструкций подземных фортификационных сооружений и приходящей на них нагрузки, исходя из реального опыта эксплуатации, целесообразно применение автоматизированной системы мониторинга на основе тензометрических (струнных) датчиков деформации. Струнные датчики, входящие в состав многих систем автоматизированного мониторинга, применяются для измерения различных параметров: давления, усилия, деформации, температуры и других нелектрических величин (рис. 4).

К достоинствам струнных датчиков следует отнести [12]:

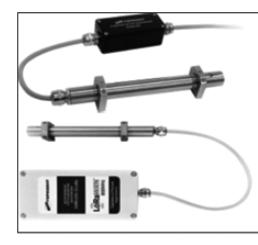
- простоту конструкции;
- надежность;
- стабильность показаний;
- невосприимчивость к электрическим помехам;
- устойчивость к влажной среде;
- способность передавать сигнал на большие расстояния без каких-либо искажений;
- удобство преобразования частотного сигнала в цифровой код.



Рис. 3. Общая схема системы мониторинга технического состояния строительных конструкций



а



б

Рис. 4. Струнные преобразователи нелектрических величин: а — давления; б — деформации

Применение струнных датчиков для контроля нагрузки и деформации защитных конструкций подземных фортификационных сооружений в составе системы мониторинга позволит непрерывно и в автоматическом режиме осуществлять сбор информации об изменениях данных величин, а вычислительная аппаратура и специально разработанное программное обеспечение позволит не только предоставлять информацию о реальной степени защиты и живучести объекта, но будет способно прогнозировать их дальнейшее изменение.

В совокупности применение такой системы позволит существенно повысить успех проводимых мероприятий борьбы за живучесть СФС.

Выводы и рекомендации

В ходе проведенного авторами исследования установлено.

1. Одним из ключевых факторов, оказывающих влияние на степень защиты и живучесть ПСФС является состояние их защитных конструкций.

2. Для определения категории технического состояния, степени повреждения и изменения несущей способности защитных конструкций СФС необходимо владеть информацией о величине их реальной деформации и нагрузки (давления).

3. Степень разрушения конструкций ПСФС зависит от соотношения приходящей на них нагрузки (давления) и фактической степени защиты.

4. Фактическая степень защиты, живучесть и вероятность поражения ПСФС также функционально зависят от величины деформации их защитных конструкций.

5. Для осуществления непрерывного сбора информации об изменении величины нагрузки (давления) и деформации защитных конструкций ПСФС по мнению авторов целесообразно применение стационарной автоматизированной системы мониторинга на основе тензометрических (струнных) датчиков деформации.

6. Дальнейшей задачей исследования должно стать более детальное изучение применимости всех элементов, входящих в систему мониторинга (первичных преобразователей (датчиков), вторичной аппаратуры, кабельных сетей, вычислительных центров и программных комплексов),

их адаптации к реальным условиям эксплуатации ПСФС (для всех режимов их эксплуатации) или разработка специализированных средств, максимально адаптированных для решения задач по оценке технического состояния объектов данного типа, а также возможностей работы систем автоматизированного мониторинга в целях достижения успеха в борьбе за живучесть СФС.

Список источников

1. Лапшин Г.А., Короленок Л.М., Калушкин М.М. Специальные сооружения и объекты. Ч. 1. Раздел. 1. Специальные объекты вооруженных сил и специальные фортификационные сооружения: учебник. СПб.: ВИ (ИТ) ВА МТО им. А.В. Хрулева, 2023. 144 с.
2. Гусев Н.Н., Алешичев С.Е., Эльцофон Д.А. К вопросу о необходимости учета влияния бактерий на несущую способность строительных конструкций и грунтовых оснований зданий и сооружений при их обследовании // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2024. № 6 (287). С.17–25.
3. Гусев Н.Н., Маслов В.О., Эльцофон Д.А. К вопросу о необходимости учета влияния тектонических разломов на несущую способность строительных конструкций и грунтовых оснований зданий и сооружений при их обследовании // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2025. № 1 (288). С. 17–25.
4. Сурин Д.В. Специальные фортификационные сооружения: учебник. СПб: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2010. 126 с.
5. Сурин Д.В. Аналитические методы оценки защищенности и живучести объектов и комплексов. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 1996. 145 с.
6. О введении в действие градостроительно-го кодекса Российской Федерации: федер. закон Рос. Федерации от 29 декабря 2004 г. № 191-ФЗ: Принят Гос. Думой Федер. Сбр. Рос. Федерации 24 декабря 2004 г. // Рос. Газ. – 2004. – 29 декабря.
7. СП 255.1325800.2016. Свод правил. Здания и сооружения. Правила эксплуатации. Основные положения, 2017. 38 с.
8. ГОСТ 31937–2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Российский институт стандартизации, 2024. 64 с.

9. ГОСТ 32019–2012. Мониторинг технического состояния уникальных зданий и сооружений. Правила проектирования и установки стационарных систем (станций) мониторинга. М.: Стандартинформ, 2014. 35 с.

10. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федер. Закон Рос. Федерации от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 23 декаб. 2009 г.: одобрен Советом Федерации Федер. Собр. Рос. Федерации 25 декабря 2009 г. // Рос. Газ. – 2009. – 30 декабря.

11. ГОСТ 27751–2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2015. 16 с.

12. Осадчий Е.П. Проектирование датчиков для измерения механических величин. М.: Машиностроение, 1979. 84 с.

References

1. Lapshin G.A., Korolenok L.M., Kalushko M.M. Special structures and facilities. Part 1. Section 1. Special facilities of the armed forces and special fortifications. Textbook. St. Petersburg: VI (IT) VA MTO named after A.V. Khrulev, 2023. 144 p.

2. Gusev N.N., Alyoshev S.E., Eltsofon D.A. On the need to take into account the influence of bacteria on the load-bearing capacity of building structures and soil foundations of buildings and structures during their inspection // Building materials, equipment, technologies of the 21st century. 2024. No 6 (287). Pp. 17–25.

3. Gusev N.N., Maslov V.O., Eltsofon D.A. On the need to take into account the influence of tectonic faults on the load-bearing capacity of building structures and soil foundations of buildings and structures during their inspection // Building Materials, Equipment, Technologies of the XXI Century. 2025. No 1 (288). Pp. 17–25.

4. Surin D.V. Special Fortification Structures. Textbook. St. Petersburg: Military Academy named after A.F. Mozhaisky, 2010.

5. Surin D.V. Analytical Methods for Assessing the Security and Survivability of Objects and Complexes. Ministry of Defense of the Russian Federation, 1996.

6. Federal Law No. 191-FZ of December 29, 2004 (version effective February 1, 2024) «Urban Planning Code of the Russian Federation».

7. SP 255.1325800.2016. «Set of rules. Buildings and structures. Operating rules. Basic provisions».

8. GOST 31937–2024 «Buildings and structures. Rules for inspection and monitoring of technical condition».

9. GOST 32019–2012 «Monitoring the technical condition of unique buildings and structures. Rules for the design and installation of stationary monitoring systems (stations)».

10. Federal Law No. 384-FZ of December 30, 2009 «Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures».

11. GOST 27751–2014 «Reliability of building structures and foundations. Basic provisions».

12. Osadchy E.P. Design of sensors for measuring mechanical quantities. Moscow: Mashinostroenie, 1979.