

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНИВАНИЯ НАДЁЖНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА СТАДИИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

УДК 624.01.004.58

ГОУ ВПО «Военно-космическая
академия им.А.Ф. Можайского»
МО РФ

Исхаков Шавкат Шамильевич

Доцент кафедры инженерно-строительного
обеспечения эксплуатации наземных комплексов,
кандидат технических наук, академик МАНЭБ

Васкевич Виктор Михайлович

Начальник кафедры инженерно-строительного обеспечения эксплуатации
наземных комплексов, доцент, кандидат технических наук

Ковалев Фёдор Евгеньевич

Адъюнкт кафедры инженерно-строительного обеспечения эксплуатации
наземных комплексов, кандидат технических наук

Рыжиков Владимир Юрьевич

Научный сотрудник Институт научно-технических разработок (ИНТР)
при Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского

Значительный износ существующих зданий и сооружений с большим сроком эксплуатации, а также низкое качество строительных объектов, возведённых в стране за последние четверть века, являются причинами роста числа обрушений зданий и сооружений, нередко сопровождающихся гибелью людей. В этой связи для повышения надёжности и безопасности эксплуатации строительных объектов в последние годы в Российской Федерации разработан целый ряд нормативных документов в области диагностирования, обследования и мониторинга технического состояния зданий и сооружений.

Исторически задачи повышения безопасности зданий и сооружений при длительном их использовании решались в нашей стране по разным методологическим концепциям, сыгравшим, несомненно, свою положительную роль. И, прежде всего, следует отметить, что ещё на рубеже 60-х – 70-х годов прошлого века усилия известных специалистов [1] были направлены на научное обоснование принципов задания уровня **надёжности** зданий и сооружений ещё на стадии их проектирования, что позволило в 80-х годах при переработке всех СНиПов по проектированию несущих элементов (строительных конструкций и грунтовых оснований) зданий и сооружений ввести соответствующие коэффициенты «запаса» (по надёжности, условиям работы, по материалу и т.п.), которые заложены во всех СНиПах по проектированию и в настоящее время. Однако подобный методологический подход не позволяет оценивать **фактическую надёжность** несущих элементов и в целом зданий и сооружений на стадии их **эксплуатации**, поскольку в классической теории [1, 2] надёжность любого объекта должна оцениваться вероятностью того, что объект на заданный момент окажется в каком-то заданном состоянии. Невоз-

возможность решения подобных задач оценивания надёжности применительно к таким объектам, как эксплуатируемые здания и сооружения, в частности, обусловлена была тем, что в нормативной базе Госстроя РФ (а до этого СССР) вообще до 2003 года не была регламентирована классификация состояний строительных объектов и их несущих элементов, которая впервые в нашей стране была представлена в СП 13-102-2003 [3]. Однако даже введение этой классификации не позволяет оценивать **надёжность** эксплуатируемых строительных объектов по показателю **вероятности** того, что объект в данное время (или через какое-то время) окажется в каком-то конкретном состоянии (например, в «работоспособном», «ограниченно работоспособном», или в каком-то другом состоянии), поскольку на практике для распознавания (идентификации) этого состояния нам никогда не хватает информации, которая должна вводиться в расчётные зависимости для вычисления вероятности очень сложного события, каковым является конкретное «техническое состояние» строительных объектов.

Понимание этого факта привело к необходимости развития другого методологического направления по обеспечению безопасности эксплуатации строительных объектов, а именно к разработке научных основ **технического** диагностирования состояния несущих элементов зданий и сооружений на основе ГОСТ 20911-89 [4]. Однако после введения этого ГОСТа [4] потребовалось ещё 12 лет для введения классификации самих «**технических состояний**» несущих элементов строительных объектов по СП 13-102-2003 [3], отличных от простых «отказов», используемых при идентификации состояния технических устройств, принятых в [4]. Вместе с тем эта **классификация** состояний зданий и сооружений далека от совершенства, так как на практике при обследованиях состояния строительных объектов в соответствии с СП 13-102-2003 [3] она не позволяет с достаточной степенью объективности настолько точно оценивать расчётным путём «несущую способность» элементов строительных объектов, чтобы однозначно и обоснованно идентифицировать переход несущих элементов зданий и сооружений из одного состояния в другое. К сожалению данный недостаток сохраняется и в ГОСТ Р 53778-2010 [5], введённом в действие с 1 января 2011 года, который в то же время не отменил от применения ни СП 13-102-2003 [3], ни ГОСТ Р 22.1.12-2005 [6] по системам мониторинга в виде СМИС для ответственных и уникальных строительных объектов. Кроме того, наличие территориальных строительных норм (также не отменённых от применения), например, ТСН 50-302-2004 «Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге» [7], МГСН 2.07-01 [8], вносит с введением в действие ГОСТ Р 53778-2010 [5] значительное разночтение в **программно-методическое** обоснование технического диагностирования, обследования и мониторинга состояния строительных объектов, что никак не спо-

собствует задачам повышения **надёжности и безопасности** эксплуатируемых зданий и сооружений. Данное обстоятельство усугубляется и тем, что объективно опыт применения вышеуказанных нормативных документов (СП 13-102-2003, МГСН 2.07-01, ТСН 50-302-2004, ГОСТ Р 22.1.12-2005, ГОСТ Р 53778-2010) не столь уж велик, что обуславливает дефицит в наличии научно-обоснованных разработок по **программно-методическому обеспечению** технического диагностирования, обследования и мониторинга состояния зданий и сооружений.

В этой связи одной из задач настоящей статьи является привлечение внимания специалистов к многолетнему опыту исследования состояния специальных сооружений (СС) военно-промышленного комплекса (ВПК), в частности по наземным космическим комплексам (НKK), накопленному в ВКА имени А.Ф. Можайского и изложенному, в частности, в работе [9]. Указанный опыт по СС НKK позволил в ВКА имени А.Ф. Можайского разработать ведомственный (для НKK) нормативный документ по программно-методическому обеспечению технического диагностирования и мониторинга состояния зданий и сооружений невоенного и двойного назначения (рис. 1), [9], в котором под мониторингом понимается техническое диагностирование состояния строительных объектов как путём проведения их периодических обследований с помощью современных средств неразрушающих методов контроля (НМК), так и с помощью уникальных стационарных автоматизированных систем мониторинга в виде систем испытания и долговременного контроля (ИДК), получивших широкую известность в ВПК [9].

На указанный ведомственный (для объектов НKK) нормативный документ, пригодный для широкого класса зданий и сооружений различного назначения, академией (ВКА имени А.Ф. Можайского) получены положительные отзывы от ведущих строительных ВУЗов Санкт-Петербурга, Госэкспертизы Северо-Западного округа МЧС РФ и от организаторов I Национального конгресса по комплексной безопасности в строительстве, состоявшегося в Москве на ВВЦ в мае 2010 года, по результатам которого в сборнике научных трудов была опубликована работа [9].

Специалисты академии на базе почти 40-летнего опыта применения систем ИДК и средств НМК (см.рис. 1) постарались в указанном документе избежать разночтений действующих нормативных документов [2-8] в области обеспечения надёжности и безопасности экс-



Рис. 1. Специальное сооружение НKK [9]

платации зданий и сооружений. Однако неразрешимой на современном этапе всё равно остаётся проблема объективного оценивания состояния эксплуатируемых зданий и сооружений по критериям **несущей способности** их элементов, которую всегда желательно определять не **расчётно-теоретическими методами**, как это предписывается нормативными документами [3, 5], а **аппаратурными** способами. Вместе с тем сложность данной проблемы носит, по крайней мере, двоякий характер.

Во-первых, при **статических** режимах загрузки зданий и сооружений выявить фактическую «несущую способность» элементов эксплуатируемых строительных объектов (грунтового основания и конструкций) в лучшем случае удаётся лишь тогда, если на стадии строительства объекта установлены **тензодатчики** в грунтовое основание и в несущие строительные конструкции, регистрирующие в них фактические напряжения σ . Но нормативно это сегодня предписывается в [5, 6] только для наиболее ответственных и уникальных зданий и сооружений путём применения стационарных систем мониторинга (СМ) типа СМИС [6]. Для обычных же зданий и сооружений, диагностирование состояния которых выполняется периодическими их обследованиями в соответствии с [3, 5], мы можем с помощью средств НМК определять лишь **фактическую прочность материала** конструкций R . Переход же от прочности материала конструкций R к их «несущей способности» (НС) сегодня осуществляется лишь расчётно-теоретическими методами по правилам строительной механики и сопротивления материалов. В то же время специалистам известно, что такой переход,

$$R \rightarrow (НС), \quad (1)$$

при сложных конструктивных схемах современных строительных объектов всегда сопряжён со значительными неточностями и неопределённостями даже при использовании современных численных методов расчёта, например, в виде метода конечных элементов (МКЭ). Связано это, прежде всего, с тем, что параметр R следовало бы определять в значительном числе точек (расчётных сечений) строительных конструкций, к которым в эксплуатируемых зданиях и сооружениях зачастую нет доступа приборами НМК из-за наличия облицовочных отделочных покрытий как внутри зданий, так и по их фасадам. Кроме того определение прочности материала (бетона) железобетонных конструкций (ЖБК) с помощью доступных средств НМК сегодня ограничивается толщинами до 60см. Для уникальных же объектов (гидротехнических сооружений (ГТС), атомной энергетики, защитных сооружений (ЗС) военного назначения и ГО МЧС, СС НКК (см.рис. 1) и др.), где толщи несущих ЖБК достигают 1 м и более, прочность бетона R мы пока что с помощью доступных средств НМК определить не можем.

Что же касается грунтовых оснований, то доступа к ним под эксплуатируемыми зданиями и сооружениями вообще нет, и определить сопротивление (прочность) грунтов R под эксплуатируемым строительным объектом, как правило, практически не возможно.

Во-вторых, оценивание состояний зданий и сооружений по критерию «несущей способности» в соответствии с [3, 5] методически может быть осуществимо, если было бы возможно **измерить** те фактические нагрузки (хотя бы статические) P_{Φ} , которые испытывают («несут») грунтовые основания и конструкции эксплуатируемых зданий и сооружений. Как известно, на стадии проектирования строительных объектов расчётным путём определяют предельные (критические) нагрузки $P_{кр}$, которые могут выдержать те или иные здания и сооружения. Тогда на стадии их эксплуатации оценивание состояния их несущих элементов (грунтового основания и конструкций) можно было бы выполнять по известному правилу строительной механики, что несущая способность обеспечена при условии:

$$P_{\Phi} \leq P_{кр} \quad (2)$$

Однако, как можно **измерить** (каким динамометром) фактический вес здания (то есть нагрузку P_{Φ}), передаваемый на грунтовое основание? Поскольку параметр P_{Φ} в этом случае (по **аппаратурным** данным) неизвестен, то алгоритм оценивания по критерию его «несущей способности» (2) оказывается **нереализуемым**. В следствие этого, как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации строительных объектов, параметр P_{Φ} в (2) для всех несущих элементов (грунтового основания и конструкций) определяется **расчётным** путём (по известной процедуре сбора нагрузок), что и предписывается к обязательному выполнению в [3, 5, 7, 8]. Вместе с тем процедура сбора нагрузок (ввиду её трудоёмкости и неточности) на практике всегда выполняется с «запасом», и поэтому **расчётное** значение нагрузок $(P_{\Phi})^P$, как правило, превосходит фактическое значение нагрузок P_{Φ} ,

$$(P_{\Phi})^P > P_{\Phi}, \quad (3)$$

а фактическое значение нагрузок P_{Φ} остаётся **неизвестным**:

$$P_{\Phi} = ? \quad (4)$$

Таким образом, и по причине (4) алгоритм диагностирования состояния зданий и сооружений по критерию их «несущей способности» (2) в соответствии с [3, 5, 7, 8] оказывается, строго говоря, **нереализуемым**. Кроме того, практика показывает, что не исключены ошибки в расчётах

параметра $(P_{\Phi})^P$, когда он оказывается заниженным в сравнении с фактическими нагрузками P_{Φ} ,

$$(P_{\Phi})^P < P_{\Phi}, \quad (5)$$

что при использовании алгоритма (2) даёт вообще неадекватные оценки о состоянии объекта, приводящие к обрушениям зданий и сооружений, когда при их проектировании или обследовании на стадии эксплуатации вместо алгоритма (2) фактически оказывается ситуация:

$$(P_{\Phi})^P < P_{\Phi} > P_{кр}. \quad (6)$$

Анализ причин большинства обрушений зданий и сооружений свидетельствует о том, что основной причиной этих обрушений является ситуация (6) ввиду незнания (4) фактических нагрузок (или трудно прогнозируемых факторов, например, Саяно-Шушенская ГЭС в России, АС в Японии и т.п.)

В случае воздействия на здания и сооружения **динамических** (и в особенности **случайных** динамических (см.рис. 1)) нагрузок ситуация (6) лишь ещё больше усиливается (при воздействии ветровых и сейсмических нагрузок, технологических газодинамических нагрузок (см.рис. 1), цунами, торнадо и т.п.). Однако, как показано в работе [9], само наличие динамических нагрузок (например, от турбулентной газовой струи (см. рис. 1), ветровых и т.п. нагрузок), позволяет даже в ситуациях (1), (4) по информативным диагностическим признакам, содержащимся в реализациях случайных вибрационных сигналов, методами спектрального анализа идентифицировать **снижение** несущей способности грунтовых оснований и конструкций зданий и сооружений, если на них в составе СМИС [6] или системы ИДК [9] установлен комплект вибрационного контроля (ВК).

Таким образом, при мониторинге состояния эксплуатируемых зданий и сооружений (то ли путём периодических обследований, то ли с применением стационарных СМ [3, 5, 6]) всегда существует **риск** оказаться в ситуации (4), (6). В этой связи представляется актуальным для оценивания **надёжности** эксплуатируемых зданий и сооружений использовать **теорию рисков** возникновения опасных и аварийных ситуаций, применение которой для технологических и технических систем промышленно опасных производств регламентирована, в частности, в РД 03-418-01 [10]. Вместе с тем для несущих элементов строительных объектов применение этой теории находится в зачаточном состоянии. В этой связи в данной области имеется весьма ограниченное число публикаций, например, [11], свидетельствующее о целесообразности исследования применимости теории рисков [10] к технической диагностике строительных объектов.

По аналогии с методическими рекомендациями в [10] авторами данной статьи предпринята попытка оценивать риск возникновения опасной и (или) аварийной ситуации с эксплуатируемым строительным объектом по вероятности P разрушения (выхода из строя) одного из несущих элементов объекта, влекущего за собой разрушение данного объекта (здания, сооружения) или невозможность выполнения им возложенных на него функций. При этом предполагается, что возникновение опасной и аварийной ситуации является следствием снижения несущей способности (НС) несущих элементов строительного объекта. Также предполагается, что на стадии проектирования объекта для всех его несущих элементов (грунтового основания и конструкций) была задана расчётная (требуемая) несущая способность $[НС]$. Длительная эксплуатация объекта со временем приводит к снижению несущей способности (по разным причинам) его элементов на некоторые величины $\Delta(НС)$ так, что фактическая несущая способность $(НС)_\Phi$ элементов объекта становится равной:

$$(НС)_\Phi = [НС] - \Delta(НС). \quad (7)$$

Тогда можно ввести показатель снижения несущей способности η , равный:

$$\eta = [НС]/(НС)_\Phi. \quad (8)$$

Очевидно, что

$$\left. \begin{aligned} \text{при } \Delta(НС) = 0 &\rightarrow [НС] = (НС)_\Phi, \\ \eta &= 1. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{при } \Delta(НС) > 0 &\rightarrow (НС)_\Phi \rightarrow 0, \\ \eta &= \infty. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Таким образом, показатель η может изменяться в пределах:

$$\eta = \{1, \infty\}. \quad (11)$$

Очевидно и то, что при возрастании показателя η [при снижении несущей способности элементов объекта $(НС)_\Phi$] вероятность разрушения объекта P , как показателя риска возникновения опасной и аварийной ситуации, возрастает. Следовательно, в принципе существует некоторая зависимость вероятности обрушения строительного объекта P от показателя снижения несущей способности его элементов η (8) – (11):

$$P = P(\eta). \quad (12)$$

При этом с возрастанием η от 1 до ∞ (11) вероятность разрушения объекта P возрастает от 0 до 1:

$$P(\eta) = \{0, 1\}. \quad (13)$$

Можно себе представить ситуацию, когда показатель η (8), (11) может быть в принципе и меньше 1. Такое бывает в том случае, если в (7)

$$[HC]_{\Phi} > [HC], \quad (14)$$

что на практике означает, что строительный объект построен с **запасом** по несущей способности, что в практике проектирования строительных объектов (в ГОСТ [2] и в СНиПах) регламентируется соответствующими коэффициентами γ надёжности, условий работы и т.п.:

$$\gamma = [HC]_{\Phi} / [HC] > 1. \quad (15)$$

С этой точки зрения коэффициенты надёжности (запаса) γ (15) являются обратными по отношению к показателю η (8).

В теории рисков [10] принято, что зависимости типа (12) должны задаваться на основе большой статистики по опыту эксплуатации объектов-аналогов или на основе экспертных оценок.

В данном случае авторы настоящей статьи, пользуясь опытом эксплуатации большого числа специальных сооружений (СС) (см. рис.1), в том числе с промышленно опасными производствами, выступая в качестве экспертов, попытались задать графическую форму зависимости (12), представленную на рис.2 кривой А-В-С-Д. Логика её построения заключается в следующем.

Для случая (14), (15), когда имеются **запасы** по несущей способности строительного объекта и [см. (8)]

$$\eta \leq 1, \quad (16)$$

вероятность обрушения объекта P , очевидно, следует принимать равной нулю (точка А на рис. 2).

При снижении несущей способности элементов объекта $\Delta[HC]$ (7) на 10%, когда [см. (8)]

$$\eta = 1,1, \quad (17)$$

эксперты оценивают вероятность обрушения строительного объекта, равной $P = 0,85$ (точка С на рис. 2).

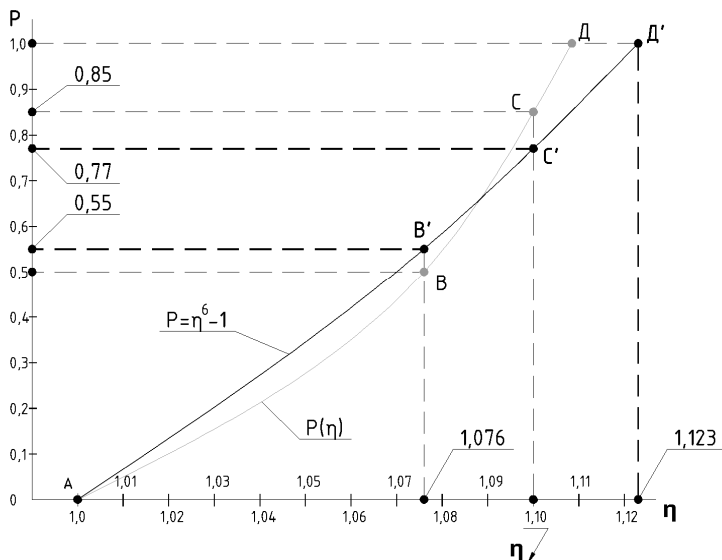


Рис. 2. График функции $P(\eta)$

Для придания зависимости (12) графической формы, близкой к параболе, между точками А и С появляется точка В с вероятностью обрушения объекта $P = 0,5$, что соответствует снижению несущей способности элементов $\Delta(НС)$ в (1) на **7,6%**, или (см. рис. 2):

$$\eta = 1,076. \tag{18}$$

При этом результат (18) при

$$\Delta(НС) = 7,6\% \tag{19}$$

вполне согласуется, например, с точностью (погрешностью) расчётов фактической несущей способности элементов эксплуатируемых зданий и сооружений при их обследовании в соответствии с обязательными требованиями по [1-3].

Точка Д (см.рис. 2) получается автоматически по результатам построения зависимости (12) по точкам А, В, С в виде гладкой параболы.

Если принять, что графическое построение зависимости (12) по выше рассмотренным точкам А, В, С, Д (см.рис. 2) является достаточно логичным и обоснованным, то можно выполнить аппроксимацию этой зависимости как параболической функции вида:

$$P=a \cdot \eta^b + c, \tag{20}$$

в которой должны быть аппроксимированы параметры «а», «в», «с» с максимальным приближением зависимости (20) к графику функции (12), построенной по точкам А-В-С-Д (см.рис. 2). Результат аппроксимации в диапазоне изменения показателя η ,

$$1 \leq \eta \leq 2, \quad (21)$$

даёт следующее аналитическое выражение для функции (20):

$$P = \eta^6 - 1. \quad (22)$$

Как следует из рис. 2, функция (22), проходящая через точки А, В', С', Д', достаточно близка по своей графической форме к графику, построенному по точкам А-В-С-Д.

Таким образом, использование зависимости (12) в виде (22) позволяет в принципе оценивать состояние строительных объектов по критерию (показателю) снижения их несущей способности η , функционально связанного с вероятностью P риска обрушения зданий и сооружений. Вместе с тем задание функции (12), (22), выполненное авторами данной статьи, должно несомненно подвергаться корректировке другими специалистами – экспертами с учётом особенностей строительных объектов различного назначения.

Вместе с тем следует иметь в виду, что введение зависимости (12), (22) методически отличается от оценивания рисков опасных и аварийных ситуаций как «отказов», возникающих за какой-то период времени, по РД 03-418-01 [10]. Так, например, в связи с аварией на АС в Японии в марте 2011 года, Российское Ведомство по атомной энергетике в публичных выступлениях указывает на то, что после Чернобыльской катастрофы надёжность всех АС в России существенно повышена (по сроку безаварийной эксплуатации одних АС до 40 лет, а некоторых АС до 60 лет с аттестацией их промышленной безопасности Ростехнадзором РФ через каждые 5 лет). При этом также указывается, что на стадии проектирования АС в Японии (40 лет назад, когда опыт Чернобыльской АС ещё не мог быть учтён) риск возникновения разрушительного либо землетрясения, либо цунами оценивался как 1 раз в 1000 лет, что даёт показатель риска (вероятности по **времени** возникновения аварийного состояния) P_{Σ} , равный

$$P_{\Sigma} = 10^{-3}. \quad (23)$$

Такой подход оценивания риска по показателю P_{Σ} и регламентируется к применению в РД 03-418-01 [10]. При этом специалисты отмечают, что надёжность АС в Японии действительно соответствовала показателю (23). Причиной же катастрофы на АС в Японии явилось то, что на стадии её проектирования не прогнозировалось, что разрушительной мощности

и землетрясение, и цунами могут произойти одновременно. В этой связи специалисты высказывают мнение о том, что с учётом опыта Чернобыльской АС возможно при проектировании АС следует учитывать аварийные ситуации (состояния), которые могут происходить 1 раз в 1000000 лет, что приведёт к показателю риска P_E , равному

$$P_E = 10^{-6}. \quad (24)$$

Таким образом, методический подход в РД 03-418-01 [10] сводится к оцениванию риска возникновения опасных и аварийных ситуаций по показателю P_E , в общем случае равному

$$P_E = N/T. \quad (25)$$

где N – число «отказов» объекта;

T – период, в течение которого могут произойти N «отказов» объекта.

Очевидно, что использование показателя рисков опасных и аварийных ситуаций P_E (25) вполне оправдан для очень ответственных объектов, аварии на которых потенциально опасны по своим последствиям для людей и окружающей среды.

Вместе с тем для обычных зданий и сооружений и менее ответственных объектов, чем АС, закладывать столь значительные показатели надёжности как (23), (24), с точки зрения технико-экономических затрат и степени риска их разрушения, вряд ли целесообразно. Поэтому использование показателя риска в виде традиционной вероятности $P(\eta)$ (12), (13) возникновения опасных и аварийных ситуаций при снижении показателя несущей способности η (8) грунтовых оснований и конструкций строительных объектов (22) (см.рис. 2) для обычных и специальных зданий и сооружений (см.рис. 1) представляется более целесообразным.

Целесообразность использования показателя (12), (13), (22) диктуется и тем, что с его помощью может быть в дальнейшем обоснованно задана **количественная** взаимосвязь между снижением «несущей способности» элементов зданий и сооружений [по показателю η (7) – (11)] с «состояниями» строительных объектов, регламентируемыми в [3, 5] лишь на **качественном** уровне, что на практике снижает объективность оценки фактического состояния эксплуатируемых зданий и сооружений при ситуациях (1), (4), (6). Поэтому дальнейшие исследования по применению теории рисков [10] могут дать существенный эффект в повышении надёжности эксплуатируемых зданий и сооружений.

Библиографический список

1. Болотин В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надёжности в расчётах сооружений. -М.: Стройиздат, 1971.

2. ГОСТ 27751-88. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчёту. -М.: Госстрой СССР, 1998.
3. СП 13-102-2003 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: Госстрой РФ, 2004.
4. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. - М.: Издательство стандартов, 1991.
5. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. -М.: ФА по техническому регулированию и метрологии, 2010.
6. ГОСТ Р 22.1.12-2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования. -М.: ФА по техническому регулированию и метрологии, 2005.
7. ТСН 50-302-2004. Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге. -СПб.: Правительство Санкт-Петербурга, 2004.
8. МГСН 2.07-01. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Обследование и мониторинг при строительстве и реконструкции зданий и подземных сооружений. -М.: Правительство Москвы, МОСКОМ-АРХИТЕКТУРА, 2004.
9. Козин П.А., Исаков Ш.Ш., Васкевич В.М., Ковалев Ф.Е. Методы вибрационного и тензометрического диагностирования состояния несущих конструкций и грунтовых оснований специальных сооружений при воздействии динамических нагрузок.-М.: Сб. научных трудов, вып.№9, под ред. проф. К.И. Еремина «Предотвращение аварий зданий и сооружений» (а также в электронном журнале «ОБРУШЕНИЯ» в интернете), 2010. – с.404-414.
10. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. -М.: Ростехнадзор России, 2002.
11. Чебоксаров Д.В. Контроль и регулирование риска аварий находящихся в эксплуатации зданий и сооружений. -М.: Сб. научных трудов, вып.№8, под ред. проф. К.И. Еремина «Предотвращение аварий зданий и сооружений» (а также в электронном журнале «ОБРУШЕНИЯ» в интернете), 2009. – с.212-215.