

УДК 510+621+624.001.25

НЕЧЕТКО-ЛОГИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОЦЕНКИ УЯЗВИМОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

© 2011 В.Г. Тишин

Ульяновский государственный технический университет

Поступила в редакцию 21.11.2011

Рассмотрен вопрос применимости оценивания уязвимости зданий и сооружений на основе нечетких экспертных представлений с использованием лингвистических подходов. Приведена вербальная интерпретация шкалы степени повреждения отдельных конструкций и здания (сооружения) в целом.

Ключевые слова: прогнозирование, эксплуатационное состояние, здания и сооружения, надежность, уязвимость, условия неопределенности, эксперты, риск, нечеткая информация, вербальное отображение

При решении многих инженерных задач в процессе проектирования одной из наиболее важных проблем является достоверное прогнозирование эксплуатационного состояния зданий и сооружений во времени. Этот прогноз в конечном итоге должен предопределять одновременно безопасность здания и сооружения в пределах нормативных сроков эксплуатации. Анализ результатов натурных исследований показывает, что ускоренный износ (снижение качества) зданий и сооружений часто является следствием недоработок и явных ошибок и просчетов на этапах проектирования, строительства и эксплуатации [1].

В теории вероятности и теории множеств понятие качества определяется как дискретное конечное пространство, $K = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$, в котором любому элементу, составляющему систему ($a_i \in K$), где K – система, может быть поставлено в соответствие одно из существенных свойств. Конечно, в состав множества, которое формирует качество, входят не все свойства проектируемого объекта, а лишь те из них, которые являются определяющими. Для строительных объектов такими свойствами являются прочность, точность размеров, морозостойкость, влагостойкость и т.д. Эти множества существенных свойств, составляющих признаки качества объекта, вообще говоря, являются конечными и относятся, как правило, к одному свойству системы (a_i). Объединение

всех свойств системы (множество свойств), которые являются высшим этапом иерархии, формирует окончательное пространство качества. Это множество свойств, которое характеризует и определяет проявление всех остальных свойств в процессе функционирования здания и сооружения – это безопасность объекта (системы), которая, в первую очередь, подразумевает надежность составляющих систему элементов. Таким образом, при рассмотрении проблемы безопасности системы (объекта в составе окружающей среды) мы будем подразумевать не только пространство качества отдельных конструкций под нагрузкой, но и пространство состояния всего объекта не только под действием нагрузок, принятых при проектировании, но и воздействий, которые на взгляд проектировщика маловероятны (но по данным мониторинга возможны в процессе эксплуатации).

Основными факторами, существенно влияющими на безопасность зданий и сооружений в целом, являются факторы, предопределенные на разной стадии жизнедеятельности объекта – при проектировании, строительстве и эксплуатации, и которые формируют его уязвимость. В данном случае под уязвимостью понимается свойство объекта утрачивать его способность к выполнению своих естественных или заданных функций в результате воздействия на них негативных факторов со стороны природной среды, в том числе, и в процессе эксплуатации [2]. За критерий полноты учета, воздействующих негативных факторов, мы принимаем понятие риск. Графически это

Тишин Валерий Григорьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и промышленная экология». E-mail: Tishinvg@mail.ru

может быть представлено в виде сложения двух множеств (рис. 1).

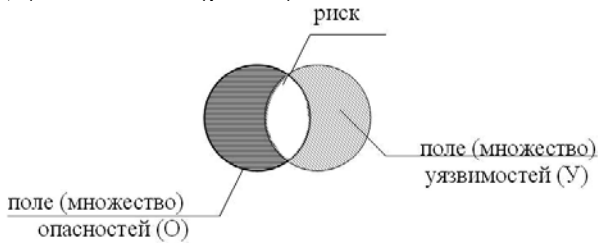


Рис. 1. Геометрическая интерпретация риска

Анализ числа аварий и дефектов зданий в России и за рубежом показывает, что более половины случаев аварий и деформаций происходит из-за низкого качества производства работ. Важным при этом анализе является также и то, что в течение периода эксплуатации расчетная модель объекта (системы) перестает соответствовать проектной модели взаимодействия объекта и окружающей среды за счет изменения их состояния в процессе строительства и эксплуатации.

Особенности постановки задачи До недавнего времени в основу обеспечения безопасности зданий и сооружений при проектировании и эксплуатации была положена теория надежности [3-7], которая должна расчетными методами обозначить границы безотказной работы, а принципиально новым моментом считался количественный подход к решению этой задачи. Для реального обеспечения безопасности строительных объектов в течение длительного времени эксплуатации необходимо повысить обоснованность проектных и технологических решений, особенно в части прогноза негативных воздействий техноприродных факторов на объект. Здесь уместно отметить, что с ошибками и недоработками проектно-изыскательского периода связаны около 30% аварий зданий и сооружений, поэтому целесообразно переходить на новые вероятностные методы проектирования, которые учитывали бы надежность конструкций и обеспечивали бы безопасность объекта в целом при регламентированных и нерегламентированных воздействиях в пределах допустимого (приемлемого) риска. Модель взаимодействия объекта с внешней средой, которую следует положить в основу создания проектной модели, приведена на рис. 2.

Согласно [3] при надежном рассмотрении безопасности строительного объекта все расчетные величины представляются двумя группами: первая группа включает в себя параметры прочности, которые определяются

свойствами конструкции; вторая группа – параметры воздействий. В этом случае удовлетворение расчета конструкции (объекта) на безопасность предопределяется выполнением с некоторой степенью вероятности неравенства:

$$P - Q > 0,$$

где P – обобщенная прочность конструкции (объекта); Q – обобщенные воздействия.

В общем случае воздействия и прочность представляются случайными функциями времени. Однако в работе [3], ограничивая процесс заданным сроком службы сооружения, время из расчета исключается и поэтому весь процесс описывается не случайными функциями, а случайными величинами с определенными, заранее назначенными законами распределения, что является искусственным введением однозначности. Что означает не что иное, как существенное огрубление исходных данных, позволяющее упорядочить множество допустимых альтернатив. Под альтернативой в рассматриваемом случае мы понимаем вариант решения, удовлетворяющий ограничениям задачи и являющийся упрощенным способом достижения поставленной цели.

При проектировании конструкций и строительных технологий проектировщик, вообще говоря, точно не знает ни фактических нагрузок, ни воздействий на сооружение в период эксплуатации, ни возможностей объекта, которые сформируются в процессе возведения и эксплуатации. Это означает, что в процессе проектирования приходится идти на определенный риск, то есть принимать решения в условиях неопределенности. Проводимый в процессе проектирования, как правило, статический расчет имеет характер прогноза, в котором отклонения гипотетической теоретической модели от практического состояния могут быть значительными. Это связано с тем, что любая теоретическая модель содержит ряд упрощающих предположений, сосредотачивается на наиболее значимых факторах, пренебрегая якобы второстепенными, но порой очень существенными. Каждое подобное упрощение приводит к существенному отклонению принимаемой расчетной схемы от реальной работы конструктивной системы. В большинстве своем в практических расчетах мы оперируем детерминированными системами и постоянными или переменными нагрузками и воздействиями, хотя в действительности, задача носит определенно стохастический характер.

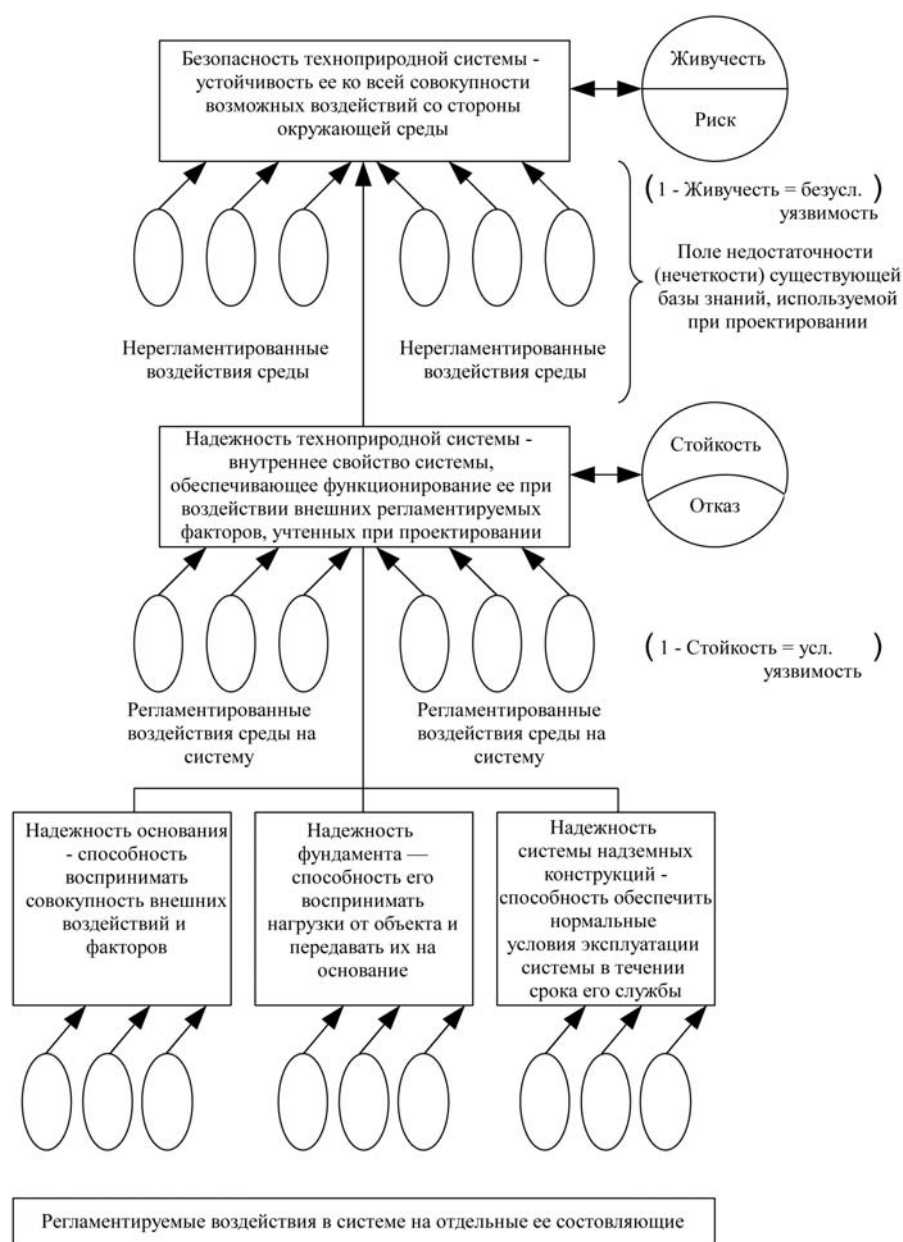


Рис. 2. Модель взаимодействия искусственного объекта с внешней средой

Одновременно с этим, свойства строительных материалов и конструкций в той или иной мере отклоняются от их средних значений, это в определенной мере, относится и к характеристикам узлов и соединений конструкций. Особые отклонения встречаются при анализе нерегулярной изменчивости свойств грунтов оснований. Чтобы ввести в расчет информацию, содержащуюся в многочисленных результатах испытаний свойств грунтов, приходится прибегать к различным упрощающим предположениям о равномерном пространственном распределении этих свойств в составе основания взаимодействующего с сооружением. Эта информация о состоянии основания должна иметь также и прогностический характер

с точки зрения изменения свойств грунтов во времени. Таковыми параметрами в принимаемых приближенных расчетных схемах должны являться средние значения грунтовых характеристик по квазигодородным элементам по всей активной зоне. Вследствие неоднородности грунта, экспериментальных ошибок, разброса данных испытаний «истинные» значения характеристик оснований, закладываемых в расчет, зачастую неадекватны действительным значениям.

Рассматривая соотношение адекватности между реальными объектами и их моделями (в виде проектов) можно прийти к выводу, что проектные состояния строительных систем на всех этапах проектирования не в полной мере

соответствует взаимодействию объекта с вмещающей его окружающей средой в действительных условиях. Таким образом, при проектировании сложной системы «сооружение – окружающая среда» получить точную информацию, которая бы в полной мере адекватно отразила состояние (уязвимость) строительного объекта во времени, практически невозможно, а если и возможно, то стоимость этой информации будет несравненно больше стоимости самого объекта, что, естественно, неприемлемо с экономической точки зрения.

Обсуждение применимости упрощенной нечетко-логической модели при оценке уязвимости строительного объекта при взаимодействии с окружающей средой. В этом случае упрощенная модель может дать более понятную информацию, чем детальная многомерная расчетная схема (которую, конечно, нужно применять в исследовательских целях). Применительно к этому случаю Л. Заде [8] подчеркивал: «По мере возрастания сложности системы наша способность формулировать точные, содержащие смысл утверждения об ее поведении, уменьшается вплоть до некоторого порога, за которым точность и смысл становятся взаимоисключающими». Таким образом, в процессе проектирования (прогнозирования) эксплуатационного состояния зданий и сооружений во времени встречается много сложностей, связанных с правильным (адекватным) отображением условий работы сооружения в составе сложной техноприродной системы. В связи с этими сложностями и значительными изменениями в окружающей техноприродной среде в процессе эксплуатации построенных объектов «адекватизация» их состояния при проектировании представляет значительные затруднения. Определенную трудность представляет также оценка опасности при реализации ошибок лиц, принимающих решение (ЛПР), эти факты, как правило, оказываются неучтенными, так как никто не отвечает за это. Существенную потенциальную опасность представляют и ошибочные действия людей из-за халатности, попустительства и безответственности которых происходят аварии и катастрофы. Значительную опасность представляют также и ошибочные решения, принимаемые в процессе эксплуатации зданий и сооружений. Эти решения формируются, как правило, в результате отсутствия квалифицированной системы эксплуатации и бесконтрольности со стороны надзорных служб.

В результате анализа всех существенных жизненных этапов строительного объекта от

замысла до вывода из эксплуатации выявилась картина, что как бы мы не старались, все эти этапы базируются преимущественно на предположениях «устраивает или не устраивает», «надежный» или «ненадежный». Во всех указанных случаях, связанных с существованием объекта, ЛПР вынуждено обращаться к приближенной информации и приближенным знаниям экспертов, которыми оно должно пользоваться для принятия решений. Использование этих нечетких словесных понятий, которыми оперируют ЛПР и эксперты, позволяет ввести в употребление качественные описания с учетом некоторой неопределенности задачи принятия решений (ПР) и достигнуть корректного представления всех факторов, имеющих отношение к поставленной задаче и не поддающихся абсолютно точному количественному описанию.

При решении многих практических задач, возникающих в процессе эксплуатации сооружений с целью обеспечения безопасности приходится определять риск, возникающий как результат влияния нерегулируемых воздействий – подтопления, сформировавшегося техногенного карста, оползней и т.п., которые не были учтены при проектировании и возникли как экстраординарные явления. Как учитывать эту ситуацию при проектировании и нужно ли? Жизнь подсказывает, что нужно. Слишком много в настоящее время зданий и сооружений, разрушающихся из-за отсутствия, недостаточности или неточности исходной информации. Во многих случаях эта информация отсутствует из-за желания осуществить строительство дешевле, или из-за нечеткости понимания конечной задачи лицом, принимающим решение. Таким образом, при создании объектов экономики в сложных природных условиях весь процесс проектирования следует разделить на два этапа: проектирование при регламентированных воздействиях; прогнозное проектирование при учёте нерегулируемых возможных воздействий по вероятностному принципу при наличии нечеткой информации по разрабатываемым сценариям возможной аварийности.

Сущность прогнозного оценивания уязвимости зданий и сооружений с учетом времени эксплуатации. Прогнозное оценивание безопасности зданий и сооружений во времени становится весьма существенным в последнее время в связи с освоением ранее непригодных в строительном отношении территорий. Проектные решения, основанные на действующих в настоящее время нормах, не учитывают реальных свойств грунта во всей

полноте. Особенно это относится к прогнозированию деформаций обычных зданий во времени (рис. 3), что приводит к недопустимым деформациям, особенно в конце срока эксплуатации. Здесь уместно отметить, что в зависимости от сложности условий, проектирование необходимо вести по принципу необходимости и достаточности. Например, расчет сооружений по надежности является достаточным в условиях, когда все воздействия и проявления окружающей среды прогнозируемы и

нечеткость исходной информации не высокая. Расчет на безопасность следует проводить в случае несоблюдения необходимых и достаточных условий при нечеткой (недостаточной) информации о воздействиях окружающей среды и неконтролируемых технологических воздействиях на сооружения во времени. При этом расчет по безопасности должен включать в себя определение риска деформирования конструкций и сооружений в целом на всех стадиях его существования.

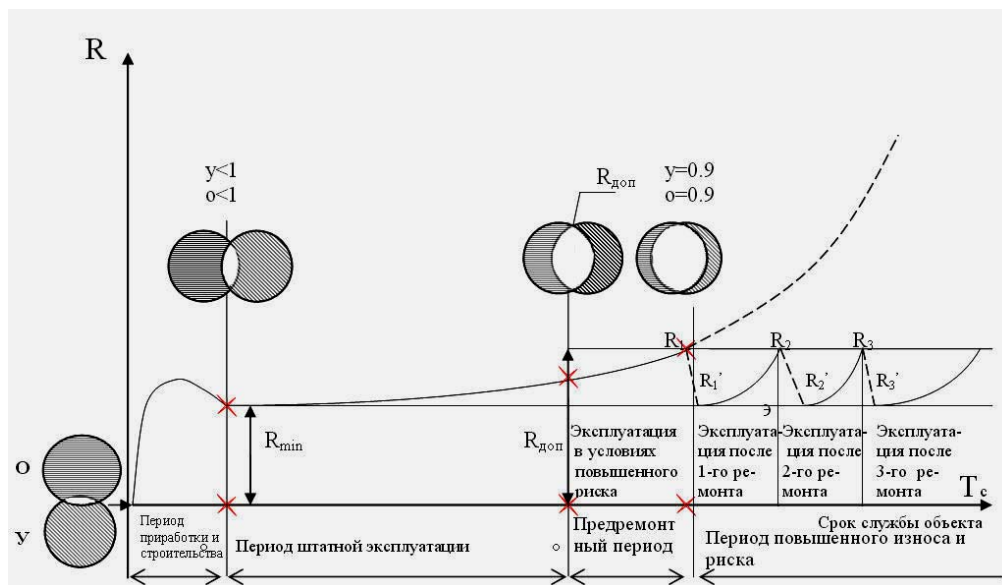


Рис. 3. Графическая модель изменения риска в процессе эксплуатации техноприродной системы (ТПС): R_{min} – риск в начале штатной эксплуатации; R_1 ($R_{доп}$) – риск на конечный период безопасной (штатной) эксплуатации; ($R_1 \div R_3$, $R'_1 \div R'_3$) – диапазон изменения риска в процессе эксплуатации и ремонтов

Обработка нечеткой информации в задачах ПР в процессе существования объектов экономики, в том числе зданий и сооружений, в течение всего периода эксплуатации осуществляется путем применения лингвистического подхода, в рамках которого в качестве значений переменных допускаются не только числа, но и слова и предложения естественного языка, а аппаратом их формализации является теория нечетких множеств и основанная на ней логика, которые позволяют описывать неточные категории, представления и значения, оперировать ими и делать практические выводы. Важным при реализации системы оценки состояния и степени повреждения существующих зданий является обоснование применимости и шкалы степени повреждения, где 0 соответствует отсутствию повреждения (низкая уязвимость), а 1 – полному разрушению сооружения (наибольшая уязвимость). Вербальная интерпретация рассматриваемой шкалы может

быть выражена в виде схемы, представленной на рис. 4. При этом, рассматривая здание (сооружение) как сложную систему, состоящую из отдельных подсистем и конструктивных элементов, причины нарушения их работоспособности можно сформулировать следующим образом:

- неправильный монтаж конструкций;
- расстройство соединений элементов конструкций;
- недопустимые деформации несущих конструкций;
- старение и коррозия соединений и конструктивных элементов;
- реакция системы и конструктивных элементов на действия нерегламентированных воздействий;
- подтопление территории и снижение прочностных свойств грунтов основания, и т. п.



Рис. 4. Оценка состояния существующих зданий (сооружений) и их вербальное отображение

В этих условиях, как показывают многие исследования и практика эксплуатации зданий [1], довольно трудно установить границы работоспособности объекта в целом, если они определяются нормативами, экономическими и другими требованиями. Поэтому одной из важнейших задач определения безопасности объектов является создание системы прогнозирования рисков при эксплуатации зданий и сооружений в условиях недостаточной и нечеткой информации. Следует отметить, что в настоящее время не существует достаточно надежного способа определения состояния поврежденности (уязвимости) и поэтому приходится прибегать к оценкам опытных инженеров (экспертов). При этих оценках обязательно должны присутствовать следующие сведения:

- принимаемые строительные материалы и конструкции;
- высота здания и число пролетов;
- территория застройки (прогноз ее качества);
- форма здания (простая, сложная);
- характеристика основания и фундаментов;
- возраст сооружения;
- расчетные параметры регламентируемых и нерегламентируемых воздействий;
- состояние конструктивных элементов на время принятия решения;
- квалификация наблюдателя и др.

Важным аспектом проблемы оценки повреждения являются то, что получаемая от экспертов информация имеет некоторую неопределенность и окончательный ответ несет на себе этот же отпечаток. В общем случае существует два типа данных, получаемых в результате обследования зданий и сооружений (оценка экспертами):

- первый тип – данные, полученные при наблюдениях локального характера, такого, как трещины в конструктивных элементах обследуемых объектов;
- второй тип – данные, полученные при обследовании общего пространственного состояния объекта, в том числе, с учетом деформирования основания и прилегающей территории.

При анализе и оценке состояний строительных объектов в процессе эксплуатации целесообразно выявить значение истинности

этих суждений в виде шкалы, приведенной на рис. 5. Механизмы определения значения истинности состояния строительных конструкций или объекта в целом изложены в [9], применяя которые можно выявить уровень истинности того или иного состояния по рис. 5, используя человеко-машинные методы анализа.

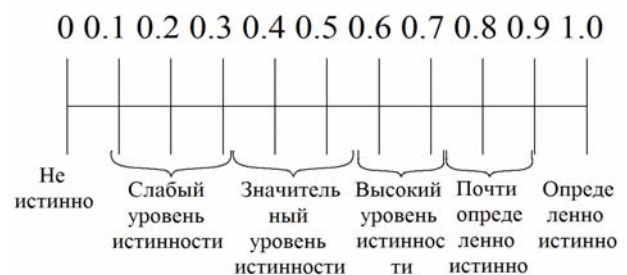


Рис. 5. Вербальные представления значений истинности применения нечеткой информации

Выводы: рассмотренный механизм, основанный на использовании человеко-машинных методов анализа и алгоритмах формализации нечеткой информации, позволит более просто и объективно решать организационно-технические задачи, касающиеся оценки текущей уязвимости объектов, которая возникает при проектировании и эксплуатации строительных систем. Уязвимость является основой для определения временных пределов безопасного существования зданий и сооружений и определения сроков проведения регламентного обслуживания и ремонтов с целью исключения недопустимого риска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Тишин, В.Г. Некоторые итоги эксплуатации здания мемориального центра в сложных геологических условиях Ульяновска // ОФМГ. 2008. № 3. С. 35-39.
2. Rogozin, A.L. Оценка и управление природными рисками / А.Л. Rogozin и др. – М.: Крук, 2003. 320 с.
3. Ржаницин, А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. – М.: Стройиздат, 1978. 239 с.
4. Синицин, А.П. Метод конечных элементов в динамике сооружений – М.: Стройиздат, 1978. 232 с.

5. Райзер, В.Д. Теория надежности в строительном проектировании. – М.: Ассоциация строительных вузов, 1998. 304 с.
6. Рогонский В.А. Эксплуатационная надежность зданий / В.А. Рогонский и др. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-е, 1983. 280 с.
7. Шнете, Г. Надежность несущих строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1994. 288 с.
8. Заде, Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений. В кн.: Математика сегодня. – М.: Знание, 1974. С. 5-49.
9. Борисов, А.Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева и др.. – М.: Радио и связь, 1989. 304 с.

**ILLEGIBLE-LOGIC REPRESENTATION OF ESTIMATION THE
VULNERABILITY OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS AT
DESIGNING AND LONG MAINTENANCE IN THE CONDITIONS OF
INDETERMINATE FORM**

© 2011 V.G. Tishin

Ulyanovsk State Technical University

The question of usability of sizing up the vulnerability of buildings and constructions on the basis of illegible expert representations with use of linguistic approaches is considered. Verbal interpretation of a scale of damage rate of separate designs and building (construction) as a whole is resulted.

Key words: forecasting, operational condition, buildings and constructions, reliability, vulnerability, indeterminate form conditions, experts, risk, illegible information, verbal representation