

УДК 624.07

**Крец Виктория Андреевна,**

студент магистратуры,  
кафедра «Строительных и общепрофессиональных дисциплин»,  
ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»,  
Российская Федерация, 385000, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191;

**Шадов Азамат Заурович,**

студент магистратуры,  
кафедра «Строительных и общепрофессиональных дисциплин»,  
ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»,  
Российская Федерация, 385000, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191;

**Шишова Рита Гучипсовна,**

кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Строительных и общепрофессиональных дисциплин»,  
ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»,  
Российская Федерация, 385000, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191;

**Надыров Рафаиль Гайзиевич,**

кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Строительных и общепрофессиональных дисциплин»,  
ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»,  
Российская Федерация, 385000, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191;

**Ушакова Татьяна Павловна,**

старший преподаватель кафедры  
«Строительных и общепрофессиональных дисциплин»,  
ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»,  
Российская Федерация, 385000, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191;

## **ТЕОРИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Аннотация.** Теория долговечности технических объектов является частным случаем теории надежности в технике. Широкое понятие объекта, применимое к теории надежности в строительстве, включает в

## **Наука и образование XXI века: актуальные вопросы теории и практики**

себя системы конструкций, т.е. здания и сооружения, или их отдельные конструктивные элементы, например, стеновые панели или панели покрытий. Иногда, что не вполне точно, под объектом понимают сам материал, например, плитный утеплитель или даже бетон. В этом случае понятие о стойкости материала подменяется понятием о его долговечности.

В данной работе показаны вариации методических понятий стойкости самого материала (его образцов) с долговечностью конструкции из этого материала при внешних воздействиях на нее.

**Ключевые слова:** теория надежности, технический объект, теория долговечности, конструкции, материал, комплексные свойства.

Под надежностью принято [1,с 119] понимать свойство объекта выполнять свои заданные функции, сохраняя во времени в заданных пределах значения установленных эксплуатационных показателей, соответствующих заданным режимам в условиях его использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки. При этом имеют в виду, что надежность является комплексным свойством объекта, которое, в зависимости от его назначения и условий эксплуатации, может включить в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость в отдельности или в определенном сочетании этих свойств. Под безотказностью [2,с.14] понимают свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого определенного времени эксплуатации.

Ремонтпригодность – это свойство объекта, состоящее в его приспособленности к обнаружению его отказов и устранению их последствий путем технического обслуживания и проведения ремонтов [2,с.21].

## Наука и образование XXI века: актуальные вопросы теории и практики

Сохраняемость представляет собой свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение и после его хранения и транспортировки [2,с.25].

Наконец, под долговечностью понимают свойство объекта сохранять при установленной системе технического обслуживания и ремонтов работоспособность до наступления предельного состояния (отказа), после которого дальнейшая его эксплуатация уже невозможна или экономически нецелесообразна [2,с.45].

Элементы строительных конструкций или их системы (здания, сооружения), при обязательном контроле качества на заводах строительной индустрии в процессе и после завершения строительства, прошедшие проверку, изначально удовлетворяют первым трем из указанных требований, предъявляемым к ним. Поэтому их безотказность, ремонтно-пригодность и сохранность обеспечены и могут в дальнейшем уже не рассматриваться. По этой причине в теории надежности строительных объектов понятия их надежности и долговечности как бы сливаются, но при этом долговечность следует относить к элементам строительных систем (наружные стены, покрытия и т.п.), а надежность – к самим системам (здания, сооружения), включающим в себя в общем случае и системы отопления, водоснабжения, канализации и лифтового обслуживания. Ниже будут рассматриваться лишь вопросы долговечности конструкций, в основном наружных ограждений. Проблема же надежности зданий еще находится в стадии разработок и далека от завершения [2,с.61].

Дадим еще определения некоторых терминов, встречающихся в теории долговечности.

Под отказом понимают события, заключающиеся в нарушении работоспособности объекта. Критерии отказов устанавливаются нормативно-технической документацией или специально выбираются и огова-

## Наука и образование XXI века: актуальные вопросы теории и практики

риваются. Отказ может быть полным (достижение предельного состояния) или частичным, при котором объект подлежит ремонту для восстановления его работоспособности. В теории долговечности строительных конструкций оба эти отказа являются постепенными, т.е. характеризуются постепенным накоплением изменения одного или нескольких определяющих параметров. Предельное состояние – это состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за неустранимого нарушения требований безопасности, или неустранимого снижения эффективности эксплуатации ниже допустимой нормы, или необходимости проведения капитального ремонта [2,с.87].

Показатель долговечности – это количественная характеристика этого свойства объекта, под которой обычно понимают срок службы конструкции – продолжительность эксплуатации в годах от ее начала с учетом возобновления после капитального ремонта до наступления предельного состояния. Наиболее важными количественными показателями долговечности ограждающих конструкций являются:

- средний срок службы (математическое ожидание в терминах теории вероятности);
- средний срок службы до среднего (капитального) ремонта, т.е. средний срок службы от начала эксплуатации до первого среднего (капитального) ремонта (сравнительная долговечность);
- средний срок службы между смежными средними (капитальными) ремонтами;
- средний срок службы до исчерпания эксплуатационной способности (списания), т.е. от начала эксплуатации до предельного состояния с учетом средних (капитальных) ремонтов (фактическая долговечность) [2,с.121].

Теория долговечности ограждающих конструкций в сущности представляет собой теорию их расчета на безопасность в широком смысле

## Наука и образование XXI века: актуальные вопросы теории и практики

этого слова. Содержание и методика этой теории существенно отличаются от содержания и методики общей теории надежности в технике, например, приборов и аппаратов, полностью базирующихся на теории вероятностей. В ее нынешнем состоянии вероятностные методы вошли в нее лишь частично, поэтому в сущности в ней используются «полувероятностные» методы тех или иных предельных состояний, характеризующихся определенным выбором иногда полного (исчерпание несущей способности во времени), а иногда частичного отказа (достижение предельно допустимых значений деформаций, ширины раскрытия и глубины проникновения трещин или степени деструкции материала в наиболее слабом звене конструкции, например, в наружном слое промерзания). Специфика такого подхода состоит также в том, что учитываются случайные свойства нагрузок и воздействий на конструкцию, например, случайный характер изменений температуры внешней среды, а также совместное действие этих случайных воздействий на нее со случайными теплофизическими и физико-механическими характеристиками ее материала. Значительно дальше продвинулось использование общей теории надежности лишь в задачах расчета надежности конструкций при динамических воздействиях, чему посвящены фундаментальные работы В.В.Болотина.

Укажем еще на существенное различие в подходах к оценке долговечности статически определимых (ненесущих) и статически неопределимых (несущих) ограждающих конструкций.

Долговечность ограждений зависит главным образом от деструктивных процессов в материале, происходящих в основном под воздействием внешней среды, сопровождающихся образованием, развитием и раскрытием трещин, накоплением остаточных деформаций, снижением прочности и модуля упругости.

## Наука и образование XXI века: актуальные вопросы теории и практики

Причиной прогрессирующей деструкции материала являются напряжения, действующие в нем и периодически изменяющиеся во времени, связанные, с одной стороны, с его так называемыми вынужденными деформациями (температурные деформации, усадка, набухание), другой стороны – с деформациями, вызываемыми криогенными фазовыми превращениями влаги в порах тела. Поэтому теория и методы прогнозирования долговечности конструкций в общем случае должны учитывать эффект их совокупного действия, во многом носящий случайный характер. Это актуально для наружных несущих конструкций, внешне или внутренне статически неопределимых, у которых по этой причине температурные напряжения, вызываемые указанными вынужденными деформациями, могут достигать высоких значений. Для наружных же не несущих ограждающих конструкций, со стыками, не предназначенными для восприятия значительных внутренних усилий (изгибающих моментов, поперечных и продольных сил) и в большинстве своем навесных, определяющей является деструкция материала, вызываемая односторонним периодическим замораживанием и оттаиванием ограждений, приводящая к накоплению повреждений в наружной холодной зоне конструкций из-за криогенных фазовых превращений влаги в порах материала. Поэтому долговечность такой ограждающей конструкции определяется долговечностью ее самого слабого звена – обычно наружного промерзающего слоя.

В случае слоистых ограждающих конструкций с эффективным утеплителем приходится иметь в виду еще их долговечность по теплозащитным качествам, при которой определяющей является сохранность теплофизических свойств утеплителя.

Для несущих же статически неопределимых ограждающих конструкций задача значительно сложнее, так как приходится не только выявлять их «слабое звено», но и оценивать его долговечность при

## Наука и образование XXI века: актуальные вопросы теории и практики

найденных статическим расчетом усилиях, возникающих под суммарным действием случайных нагрузок и внешних температурно-влажностных воздействий. Понятно, что даже применение полувероятностных методов требует здесь еще ряда условных допущений и понятий. Поэтому так называемы «прямые» методы расчета долговечности таких наружных ограждений не нашли еще широкого развития и применения. По этой причине в работе ограничимся изложением общей задачи долговечности наружных ограждающих конструкций в ее постановке применимо к несущим ограждениям. Долговечность таких конструкций обеспечивается расчетом, определяющим необходимые соотношения между внешними, в том числе температурно-влажностными воздействиями на них, с одной стороны, и конструктивными параметрами (тип ограждения, его геометрические размеры и вид материалов) и соответствующими физическими свойствами (прочность, морозостойкость, тепловлагофизические характеристики) материала – с другой, и притом с соответствующими экономическими оценками. Последнее требование, привело даже к развитию особых видов методов прогнозирования долговечности конструкций с так называемой экономической ответственностью [3, с.25].

Следуя А.Р. Ржаницыну [3, с.28], разделим все расчетные величины, с которыми приходится иметь дело в рассматриваемой задаче долговечности, на две основные группы. Первую группу условно называют параметрами прочности. Она включает в себя все характеристики, относящиеся к свойствам самой ограждающей конструкции (тепло–влаго–физические характеристики, прочность, морозостойкость материалов ограждения, его конструктивные особенности и геометрические размеры). Вторую группу также условно будем называть параметрами нагрузки. К ней относят характеристики внешних воздействий на ограждение (нагрузка, температура и влажность наружной среды, солнечна радиация).

## Наука и образование XXI века: актуальные вопросы теории и практики

В общем случае между параметрами прочности и параметрам нагрузки существует связь, так как прочность и тепло–влаго–физические свойства материала конструкции зависят от температуры и влажности, а эффект нагрузки зависит от тепло–влаго–физических характеристик материала ограждения и его геометрических размеров. Но поскольку в связи с оговоренными и обоснованными ранее допущениями, можно считать, что теплофизические свойства материала не зависят от температуры и детерминированы по отношению к его влажности, а сама эта влажность статистически детерминирована так же, как и температура внешней среды, то эффект «нагрузки» – температурное поле ограждения – также статистически детерминировано. При этих условиях корреляционная связь между параметрами прочности и параметрами нагрузки отсутствует и принятое разделение их на самостоятельные группы вполне оправдано. Это позволяет сформулировать задачу расчета долговечности наружного ограждения в виде условия достижения предельного состояния по долговечности, основанного на принятой форме частичного отказа [3,с.31]:

$$\hat{R} - \tilde{N} > 0, \quad (1)$$

где  $\hat{R}$  – обобщенная прочность ограждения,  $\tilde{N}$  – обобщенная нагрузка.

$\hat{R}$  и  $\tilde{N}$  зависят от ряда случайных и детерминированных величин и являются в общем случае случайными функциями, поэтому условие (1) может выполняться лишь с некоторой, но достаточно большой вероятностью.

В полувероятностном методе функции  $\hat{R}$  и  $\tilde{N}$  считаются не случайными, а статистически детерминированными [4,с.54], но с параметрами в виде случайных величин, найденных с заданной вероятностью на основе соответствующих законов распределения. При этих условиях тре-



бование (1) о соотношении случайных функций  $\hat{R}$  и  $\hat{N}$  уже заменяется их детерминированным соотношением в указанном выше смысле

$$R - N = 0, \quad (2)$$

Изложенным в обобщенной форме полувероятностным методом прогнозирования долговечности наружных ограждений и условием (2) мы будем пользоваться в дальнейшем.

Целью расчета наружных ограждений на долговечность является обеспечение нормированной долговечности с наименьшими затратами на это обеспечение материалов и денежных средств. Поэтому при установлении оптимальной долговечности должен учитываться экономический критерий минимума приведенных затрат и ущерба от возможных повреждений в течение срока службы ограждения [4,с.55]. При этом мы приходим к методам оценки долговечности на основе чисто экономических подходов. В этом случае для ограждений с чисто экономической ответственностью, повреждения которых не вызывают других последствий, кроме денежных убытков, связанных с необходимостью восстановления или ремонта, оптимальная долговечность в общем случае находится по суммарным ожидаемым расходам, состоящим из приведенных затрат на возведение и эксплуатацию ограждения и затрат на возмещение ущерба от возможных повреждений и разрушений.

### **Список литературы**

1. Бондаренко В. М., Римшин В. И. Остаточный ресурс силового сопротивления поврежденного железобетона // Вестник Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук. – 2005. – № 9. – С. 119-126.
2. Нотенко С. Н. и др. Техническая эксплуатация жилых зданий, учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по строительным специальностям, под ред. В. И. Римшина и А. М. Стражникова. – Сер. Для высших учебных заведений. Строительство (Изд. 2-е, перераб. и доп.). – Москва, 2008. – 585 с.

## **Наука и образование XXI века: актуальные вопросы теории и практики**

3. Ржаницын А. Р. Об общем принципе оптимизационного расчета сооружений // Строительная механика и расчет сооружений. – 1974. – №3. – С. 25-32.
4. Римшин В. И., Кустикова Ю. О. Механика деформирования и разрушения усиленных железобетонных конструкций // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Строительство и транспорт. – 2007. – № 3-15. – С. 53–56.