

Восточно-Казахстанский государственный технический университет  
им. Д.Серикбаева

УДК 624.012.3/.4

ДЕРИГЛАЗОВА ЕКАТЕРИНА АЛЕКСАНДРОВНА

Определение нормативной надежности эксплуатируемых железобетонных  
конструкций сравнительным способом

специальность 6N0729 - Строительство

**Реферат диссертации на соискание академической степени  
магистра технических наук по специальности «Строительство»**

Научный руководитель:  
кандидат технических наук, доцент ВКГТУ  
Чернавин В.Ю.

Усть-Каменогорск, 2010

## **Введение**

**Актуальность темы диссертационной работы.** Основная цель расчета строительных конструкций – обеспечение их надежности и экономичности. Противоречивость этих требований (повышение надежности связано с удорожанием конструкции и, наоборот, удешевление конструкции влечет за собой снижение надежности) решается обычно в пользу создания интуитивных запасов прочности.

В процессе эксплуатации в строительных конструкциях интенсивно накапливаются повреждения по причине негативных реологических воздействий и непроектных условий фактической эксплуатации, и запас прочности может оказаться недостаточным, что приводит к появлению опасности отказа строительных конструкций. Решающий фактор при проектировании, а так же эксплуатации строительных конструкций – это безопасность здоровья и жизни людей. В связи с этим, наиболее актуальным вопросом является выяснение степени угрозы здоровью и жизни людей, находящихся на площади поражения при отказе строительных конструкций.

Существующая система обследования и оценки технического состояния конструкций зданий и сооружений предусматривает проведение освидетельствования через определенные сроки. В процессе освидетельствования происходит оценка технического состояния конструкций и их пригодность к дальнейшей эксплуатации, т.е. оценивается их надежность. Независимо от назначения зданий и сооружений, нормы СН РК 1.04-04-2002 «Обследование и оценка технического состояния зданий и сооружений» предусматривают проведение поверочных расчетов несущих строительных конструкций с целью разработки рекомендаций по их дальнейшей эксплуатации. Поверочные расчеты осуществляются по соответствующим действующим нормам и являются важным шагом для оценки надежности конструкций. Однако данные нормативные документы не предусматривают количественной оценки надежности.

Методика расчета вероятности отказа или вероятности безотказной работы строительной конструкции является логическим продолжением методики расчета по предельным состояниям. На сегодняшний момент накоплено достаточно данных по изменчивости временных и постоянных нагрузок, геометрических и прочностных характеристик конструкций, что позволяет частично использовать вероятностный метод расчета. Применяя выше упомянутые данные можно определить один из видов надежности – эксплуатационную, которую для объективной оценки состояния конструкции, необходимо сравнить с минимально-допускаемой или нормативной надежностью.

Существующие значения нормативной надежности установлены, как правило, волевым путем, и, чаще всего, касаются проектируемых конструкций. Вопрос о нормативной надежности эксплуатируемых конструкций с учетом экономически неопределимых (социальных)

последствий в настоящее время мало изучен. Определенная работа в данном направлении проводилась. И на сегодняшний момент существуют предположения по назначению эталонных неэкономических потерь. Исследования, опубликованные в литературе, проводились российскими учеными, и не отражают специфику нашего региона.

В связи с вышеизложенным, становится необходимым разработка методики определения нормативной надежности эксплуатируемых конструкций с учетом экономически неопределимых (социальных) последствий, характерных для Республики Казахстан.

**Цель работы.** Целью работы является разработка методики определения нормативной надежности эксплуатируемых железобетонных конструкций с учетом неэкономических потерь. Рассматривается один вид отказа, под которым понимается наступление предельного состояния первой группы согласно СНиП 2.03.01-84\*. В качестве конструкций рассматриваются сборные железобетонные ребристые и многопустотные плиты покрытия, как наиболее распространенные.

Для достижения поставленной цели было намечено решить следующие задачи:

- анализ существующих предложений и методик определения нормативной надежности конструкций;
- разработка методики определения нормативной надежности эксплуатируемых железобетонных конструкций на примере сборных плит покрытия с учетом неэкономических последствий отказа строительных конструкций;
- разработать программный продукт для расчета нормативной надежности на ЭВМ.

**Научную новизну работы составляют:**

- использование уровня индивидуального риска в строительстве в Казахстане в качестве величины эталонных неэкономических потерь;
- оценка нормативной надежности эксплуатируемых сборных железобетонных плит покрытия с применением вероятностных методов.

**Научным положением, выносимым на защиту,** является методика оценки нормативной надежности эксплуатируемых железобетонных конструкций сравнительным способом.

**Практическое значение работы** заключается в применении методики оценки нормативной надежности при проведении технического обследования строительных конструкций.

**Апробация результатов исследований.** Основные результаты работы были доложены на следующих конференциях:

- республиканских научно-практических конференциях в ВКГТУ (г. Усть-Каменогорск) в 2009, 2010 годах.

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 3 статьи.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, списка литературы и приложений. Работа изложена на 69

страницах текста, содержит 25 таблиц, 14 рисунков, список литературы из 68 наименований.

### **Основная часть**

**Введение.** Во введении обосновывается актуальность выбранного направления исследования, формулируются цели работы.

**В первой главе** приводится краткая история развития теории расчета строительных конструкций, определения их надежности и предложения по назначению нормативных значений надежности. Рассмотрены методы определения надежности строительных конструкций:

- метод Н.С. Стрелецкого («гарантия неразрушимости»);
- метод А.Р. Ржаницина (использование характеристики безопасности);
- метод В.В. Болотина (теория случайных функций);
- метод смешанного статистического моделирования;
- метод А.Н. Добромыслова (определение надежности строительных конструкций по внешним признакам).

Далее рассмотрены вопросы нормирования надежности строительных конструкций с учетом специфики строительного объекта. Отмечены предложения А. Г. Ройтмана, предложение В.В. Судакова по использованию значений нормативных коэффициентов надежности, вероятностно-оптимизационный метод, разработанный А.Р. Ржанициним, Б.И. Снарским и Ю.Д. Суховым, сравнительный метод, предложенный В.Д. Райзером и А.С. Лычевым, предложение Г. Аугусти, А. Баратта, Ф. Кашиати о вычислении нормативной надежности с учетом неэкономических (социальных) последствий.

В заключительной части первого раздела выполнены выводы по рассматриваемой проблеме и сформулированы задачи исследования.

**Во второй главе** рассмотрены теоретические основы определения нормативной надежности сравнительным методом.

Вычисление нормативной надежности по сравнительному методу производится из следующего выражения:

$$P_{\text{норм}} = 1 - \frac{[П] \cdot p_k}{П}. \quad (1)$$

где  $[П]$  - эталонные неэкономические потери;

$p_k$  - вероятность отказа конструкции;

$П$  - неэкономические потери.

Вопрос об уровне эталонных неэкономических потерь является очень важным, так как нормативная вероятность отказа во многом зависит от них. Окончательных решений по назначению эталонных неэкономических потерь на сегодняшний момент не существует. В качестве величины эталонных неэкономических потерь, характерных для Республики Казахстан, предлагается использовать значение индивидуального риска в строительстве равное  $[П] = 0,6 \cdot 10^{-5}$  чел/год (на

основе статистической информации о частоте несчастных случаев от неестественных причин).

Под неэкономическими потерями имеется в виду количество человек, находящихся на площади поражения конструкции в момент ее отказа. В число людей входят как постоянно пребывающие в помещении, так и случайно там находящиеся.

Систематические неэкономические потери при отказе конструкции определяются по формуле:

$$\Pi_1 = \frac{F_k}{F_n} \cdot p_k \cdot \sum_i^M \frac{t_i}{24} \cdot \quad (2)$$

где  $F_k$  – площадь поражения от отказа конструкции;

$F_n$  – площадь помещения;

$p_k$  – вероятность отказа конструкции;

$M$  – количество человек, постоянно находящихся в помещении;

$t$  – время нахождения  $M$  человек в помещении.

Случайные неэкономические потери составляют:

$$\Pi_2 = p_k \cdot \sum_{i=1}^L i \cdot P_i \cdot \quad (3)$$

где  $L$  – число людей, случайно находящихся в помещении;

$P_i$  – вероятность нахождения  $i$  человека на площади поражения в момент отказа конструкции.

Число людей, случайно находящихся в помещении, определяется из следующего условия:

$$L = \frac{F_k}{F_{\min}} - \frac{M \cdot F_k}{F_n} \leq M \cdot \left(1 - \frac{F_k}{F_n}\right) \cdot \quad (4)$$

где  $F_{\min}$  – минимальная площадь, на которой может разместиться один человек.

Вероятность нахождения  $i$  человека на площади поражения в момент отказа конструкции определяем по формуле:

$$P_i = C_L^i \cdot \left(\frac{t_1}{24}\right)^i \cdot \left(1 - \frac{t_1}{24}\right)^{L-i} \quad (5)$$

$C_L^i$  – количество сочетаний из  $L$  по  $i$ ;

$t_1$  – время случайного пребывания людей в помещении.

Общие неэкономические потери составят:

$$\Pi = \Pi_1 + \Pi_2. \quad (6)$$

Полные неэкономические потерь при отказе конструкции:

$$\Pi = \frac{F_k}{F_n} \cdot p_k \cdot \sum_i^M \frac{t_i}{24} + p_k \cdot \sum_{i=1}^L i \cdot P_i \cdot \quad (7)$$

**Третья глава** посвящена определению нормативной надежности сравнительным способом.

На основании формул, описанных в главе 2 общие неэкономические потери при отказе конструкции можно выразить следующим образом:

$$P_{norm} = 1 - \frac{[II]}{\frac{F_k}{F_n} \cdot \sum_{i=1}^M \frac{t_i}{24} - \sum_{i=1}^L i \cdot P_i} \quad (8)$$

В дальнейшем при определении нормативной надежности по формуле (8) в расчет вводились следующие допущения:

- 1) рассматриваются только конструкции покрытия, так как данный вид конструкций здания имеет наибольшую вероятность отказа;
- 2) в многоэтажных зданиях при отказе плит покрытия нижележащие плиты перекрытия не обрушаются.

Такие допущения являются обоснованными. Сборные железобетонные покрытия среди эксплуатируемых конструкций занимают значительное место. Чаще всего данный вид конструкций перегружен (особенно снеговой нагрузкой в зимний и весенний периоды). Это приводит к увеличению риска обрушения. В многоэтажных зданиях при отказе плит покрытия, мы не можем однозначно утверждать, что произойдет также и обрушения нижележащих плит перекрытия. В данной области необходимо проводить дополнительные исследования.

Используя адаптированную методику, было проведено определение нормативной надежности железобетонных плит покрытия объектов ПК РЦЗ АО «Казцинк»: дробильное отделение склада концентратов обжигового цеха и промывного отделения сернокислотного цеха (г. Риддер), АО «УКТМК» ЦБК цеха №1, регионального научно-технологического парка «Алтай».

Для автоматизированного процесса определения нормативной надежности был разработан программный комплекс на основе системы объектно-ориентированного программирования Delphi. Данная программа разработана для операционных систем Windows XP Home Edition, Windows XP Vista, Windows XP Professional разработки фирмы Microsoft Corporation. Основные программные модули расчета написаны на языке программирования Object Pascal.

**В четвертой главе** описана методика определения фактической надежности эксплуатируемых железобетонных конструкций.

Для объективной оценки состояния строительных конструкций указанных выше объектов была определена фактическая надежность плит покрытия. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Проведя сравнительный анализ нормативной и фактической надежности эксплуатируемых плит покрытия рассматриваемых объектов, можно сделать вывод, что минимальная безопасность находящихся в здании людей обеспечена.

Таблица 1 – Сравнительный анализ нормативной и фактической надежностей

Наименование объекта	Значение нормативной надежности	Значение фактической надежности
1	2	3
Дробильное отделения склада концентратов обжигового цеха ПК РЦЗ АО «Казцинк»	0,9976	0,9999991
Промывное отделения сернокислотного цеха ПК РЦЗ АО «Казцинк»	0,9960	0,9999991
Производственные мастерские ЦБК цеха №1 АО «УКТМК»	0,9999546	0,99999918
Административно-бытовые помещения ЦБК цеха №1 АО «УКТМК»	0,99996399	0,99999910
Региональный научно-технологический парк «Алтай»	0,999692	0,999999784
Примечание – Нормативная надежность определена при условии, что эталонные неэкономические потери составляют $0,6 \cdot 10^{-5}$ чел/год		

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе была рассмотрена методика определения нормативной надежности железобетонных эксплуатируемых плит покрытия с учетом экономически неопределимых последствий при отказе конструкции. Данная методика позволяет определить надежность эксплуатируемых железобетонных элементов по предельному состоянию первой группы с применением сравнительного метода.

В диссертационном исследовании были рассмотрены сборные железобетонные ребристые и многопустотные плиты покрытия как наиболее распространенные конструкции.

При определении нормативной надежности по сравнительному методу одной из важных задач является назначение уровня эталонных неэкономических потерь. С учетом особенности Республики Казахстан автором рекомендуется принять в качестве эталонных неэкономических потерь величину  $0,6 \cdot 10^{-5}$  чел/год.

С помощью вероятностного алгоритма и с учетом назначенных эталонных неэкономических потерь были определены величины нормативной надежности эксплуатируемых сборных железобетонных плиты покрытия дробильного отделения склада концентратов обжигового цеха и промывного отделения сернокислотного цеха ПК РЦЗ АО «Казцинк», производственных мастерских и административно-бытовых помещений ЦБК цеха №1 АО «УКТМК», регионального научно-

технологического парка «Алтай». Полученные значения варьируются в пределах от 0,9960 до 0,99996399 в зависимости от последствий отказа.

Полученные значения нормативной надежности являются минимально допускаемыми для рассмотренных объектов из условия безопасности людей.

Для объективной оценки состояния конструкций необходимо определять эксплуатационную надежность строительных конструкций с последующим сравнением ее значения с минимально допускаемым.

В ходе работы были определены значения фактической надежности плит покрытия указанных выше объектов. Данные значения варьируются в пределах от 0,9999991 до 0,999999784 в зависимости от условий эксплуатации строительных конструкций.

Сравнение нормативного значения надежности плит покрытия с фактическим значением (для рассмотренных объектов) позволяет сделать вывод, что фактическая надежность плит покрытия исследуемых объектов обеспечивает минимальную безопасность, находящихся в здании людей.

Практическая значимость проведенной работы заключается в применении методики определения нормативной надежности при проведении технического обследования зданий и сооружений с учетом специфики строительного объекта, заключающейся в особенностях экономических и неэкономических потерь.

### **Список опубликованных работ по теме диссертации**

1. Кусаинов А.А, Чернавин В.Ю., Герасимов Е.П., Дериглазова Е.А. О назначении эталонных неэкономических потерь// Труды НГАСУ. – Новосибирск, НГАСУ. 2009 г. Т. 12, №3 (46). – с. 174 – 176.

2. Е.А. Дериглазова, В.Ю. Чернавин, Е.П. Герасимов. К вопросу оценки нормативной надежности строительных конструкций с учетом неэкономической ответственности здания// Материалы IX Республиканской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. – Усть-Каменогорск, ВКГТУ. 2009 г. с. 96 – 97.

3. Е.А. Дериглазова, В.Ю. Чернавин, Е.П. Герасимов. Оценка экономически неопределимых последствий отказа строительных конструкций, характерных для Республики Казахстан// Материалы X Республиканской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. – Усть-Каменогорск, ВКГТУ. 2010 г. Ч. 1, с. 63 – 64.



## ТҮСІНІКТЕМЕ

Дериглазова Екатерина Александровнаның магистралық диссертациялық жұмысына тақырыбына беру: «Салыстырмалы тәсілімен темірбетондық құрылымның пайдаланылатын беріктілік нормативтілігін анықтау»

6N0729 - Құрылыс

**Зерттеудің өзектілігі.** Құрылыс конструкцияларын зертеу кезіндегі жағдайын объективті бағалау үшін нақты сенімділігін азғана немесе нормативті рұқсат етілгенмен салыстыру өте қажет.

Нормативтік сенімділіктің пайда болған мәні ереждегідей ерікті жолмен орнатылған, және бәрінен бұрында жобаланатын конструкцияға әсер етеді. Экономикалық бағаланбайтын зардаптарды есепке ала отыра эксплуатацияланатын конструкциялардың нормативтік сенімділігі туралы сұрақ қазіргі кезде аз зерттелген.

**Жұмыстың маусаты** экономикалық емес жоғалтулар есебімен эксплуатацияланатын темірбетон конструкциясының нормативтік сенімділігін анықтау әдістемесін жасау болып табылады.

### **Ғылыми жаңашылдығы:**

- Қазақстанда құрылыста эталонды экономикалық емес жоғалтулар ретінде жеке тәуекелдің деңгейін қолдану;

- Ықтимал әдістерді қолдаумен эксплуатацияланатын жабындының темір бетонды құрама плиталарының нормативтік сенімділігін бағалау.

**Жұмыстың тәжірибелік** маңызы құрылыс конструкцияларына техникалық зерттеу өткізу кезінде нормативтік сенімділік бағасы әдістемесін қолданумен қорытындалады.

### **Жұмыстың нәтижелері:**

- салыстырмалы әдісті қолданумен эксплуатацияланатын иілгіш темірбетонды элементтердің нормативтік сенімділігін анықтаудың ықтималды алгоритмі жоспарланды;

- эталондық экономикалық емес жоғалтулардың шамасы ретінде  $0,6 \cdot 10^{-5}$  адам/жылына тең шама қабылданған.

- «Қазмырыш» ПК РЦЗ АҚ (Риддер қаласы), «Өскеме ТМК» АҚ, «Алтай» өлкетану ғылыми-технологиялық саябағы объектілеріні жамылғысы көпқуысты және эксплуатацияланатын құрама темірбетон қабырғалы тақталарының нормативтік сенімділік шамасы анықталады. Алынған мәндер ақаулар зардабына тәуелді 0,9960 – 0,99996399 шегіне дейін өзгертіледі;

- жоғарыда көрсетілген объектілерге арналған жабу тақтасының нақты сенімділігінің шамасы анықталды. Алынған мәндер эксплуатация шартынан тәуелді 0,9999991 – 0,99999984 шегіне дейін өзгертіледі.

## АННОТАЦИЯ

к магистерской диссертационной работе Дериглазовой Екатерины Александровны на тему: «Определение нормативной надежности эксплуатируемых железобетонных конструкций сравнительным способом»  
6N0729 – Строительство

**Актуальность исследования.** Для объективной оценки состояния строительных конструкций в процессе их обследования необходимо сравнивать фактическую надежность (эксплуатационную) с минимально-допускаемой или нормативной. Существующие значения нормативной надежности установлены, как правило, волевым путем, и, чаще всего, касаются проектируемых конструкций. Вопрос о нормативной надежности эксплуатируемых конструкций с учетом экономически неопределимых (социальных) последствий в настоящее время мало изучен.

**Целью работы** является разработка методики определения нормативной надежности эксплуатируемых железобетонных конструкций с учетом неэкономических потерь.

### **Научная новизна:**

- использование уровня индивидуального риска в строительстве в Казахстане в качестве величины эталонных неэкономических потерь;
- оценка нормативной надежности эксплуатируемых сборных железобетонных плит покрытия с применением вероятностных методов.

**Практическое значение работы** заключается в применении методики оценки нормативной надежности при проведении технического обследования строительных конструкций.

### **Результаты работы:**

1. разработаны вероятностные алгоритмы определения нормативной надежности эксплуатируемых железобетонных изгибаемых элементов с применением сравнительного метода;
2. в качестве величины эталонных неэкономических потерь принята величина равная  $0,6 \cdot 10^{-5}$  чел/год;
3. определены величины нормативной надежности эксплуатируемых сборных железобетонных ребристых и многопустотных плит покрытия объектов: ПК РЦЗ АО «Казцинк» (г. Риддер), АО «УК ТМК», региональный научно-технологический парк «Алтай». Полученные значения варьируются в пределах от 0,9960 до 0,99996399 в зависимости от последствий отказов;
4. определены величины фактической надежности плит покрытия для указанных выше объектов. Полученные значения варьируются в пределах от 0,9999991 до 0,999999784 в зависимости от условий эксплуатации.

## ABSTRACT

for the master's thesis of Deriglazova Ekaterina Aleksandrovna on the following subject: « Estimation of normative safety of concrete designs by comparative method»  
6N0729 – Construction

**The urgency of the research.** When we survey different building objects, we should compare their actual reliability with the minimum supposed (normative) for a real estimation of the building constructions.

Today we have some normative reliability values of projected constructions. However they are fixed by a strong-willed method. There is no complete information about working out of the building constructions with due regard to social losses.

**The purpose of the work** is working out a method of calculation for maintained ferroconcrete constructions with due regard to social losses.

**The scientific novelty:**

- use the individual risk value in Kazakhstan's construction as a standard of social losses;
- normative reliability calculation of maintained ferroconcrete constructions with the probability method application.

**The practical meaning of the research** is this method application, when we survey different building objects.

**The results of the research:**

- probabilistic algorithm for normative reliability calculation of maintained ferroconcrete constructions has been developed;
- standard of social losses has been appointed. This value is equated to  $0,6 \cdot 10^{-5}$  person/year;
- normative reliability of maintained ferroconcrete constructions has been calculated for different objects. These figures vary from 0.9660 to 0,99996399. It depends on the consequences of failures;
- actual reliability has been calculated for the same objects. These figures vary from 0,9999991 to 0,999999784 depending on the operation conditions.