Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian journal of transport engineering <http://t-s.today/>

2016, Том 3, №3 / 2016, Vol 3, No 3 <http://t-s.today/issues/vol3-no3.html>

URL статьи: <http://t-s.today/PDF/02TS316.pdf>

DOI: 10.15862/02TS316 (<http://dx.doi.org/10.15862/02TS316>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Столяров В.В., Щеголева Н.В. Некоторые исторические рубежи развития теории риска (от зарождения до наших дней) // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 3, №3 (2016)

<http://t-s.today/PDF/02TS316.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Stolyarov V.V., Shchegoleva N.V. [Some historical boundaries of developing risk theory (from initiation down to our days)] Russian journal of transport engineering, 2016, Vol. 3, no. 3. Available at: <http://t-s.today/PDF/02TS316.pdf> (In Russ.)

УДК 519.2, 625.7/8

Столяров Виктор Васильевич

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Россия, Саратов¹

Доктор технических наук, профессор

E-mail: stolyarov_v_v@mail.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=443650

Щеголева Наталья Вячеславовна

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Россия, Саратов

Доцент кафедры «Транспортное строительство»

Кандидат технических наук

E-mail: Shchegoleva123@mail.ru

РИНЦ: http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=668391

Некоторые исторические рубежи развития теории риска (от зарождения до наших дней)

Аннотация. В статье дан исторический обзор развития теории риска в сравнении с этапами развития теории надежности, как за рубежом, так и в нашей стране (в СССР и в Российской Федерации). Показаны основные направления оценки и исследования риска во всех отраслях деятельности человека. Названы существенные этапы развития данных теорий с привязкой к странам, в которых были достигнуты те или иные результаты их формирования. Уделено внимание авторам различных направлений теории риска и теории надёжности, при этом показан вклад отечественных учёных на этапах зарождения обеих наук. Хронологически показано, что теория риска появилась значительно позже теории надёжности. Анализ развития теории риска проведен, практически, впервые и выполнен в связи с появлением работ, вольно трактующих этапы формирования теории риска, что является недопустимым по отношению к их авторам.

Ключевые слова: безопасность; теория надежности; теория риска; отказ; количественная величина опасности; функция Лапласа; интегральная функция нормального закона; критические параметры; параметры и виды предельного состояния

¹ 410054, г. Саратов, ул. Политехническая 77

До начала 60-х годов прошлого столетия анализ безопасности промышленных объектов и на транспорте основывался только на статистических методах [1]. Например, к 1960 г. по данным статистики было установлено, что одна катастрофа приходится в среднем на 1 млн. посадок самолётов. В этот период термин «анализ риска» отсутствовал, а понятие «надёжность» использовалось, начиная с 50-х годов прошлого столетия, в аэрокосмической и военной промышленности, радиоэлектронных устройствах, энергетике, автоматике, приборостроении и машиностроении [1, 2, 3]. В СССР первая переводная книга с английского по теории надёжности «Малогабаритная радиоаппаратура. (Вопросы конструирования, производства и эксплуатации)» была опубликована в 1954 году под редакцией В.И. Сифорова [3], а первая отечественная монография по статистическому анализу и контролю надёжности была опубликована в 1962 году [2]. Автор данной монографии Шор Я.Б. указывает на этот факт в предисловии к данной книге. В 1966 году Козлов Б.А. и Ушаков И.А. выпустили в Советском Союзе «Краткий справочник по расчёту надёжности», который в 1970 году был переведён на английский язык и издан в США. Названные авторы в 1975 году опубликовали переработанное и существенно расширенное издание этого справочника [3]. В этом издании справочника авторы опубликовали весьма полезный для исторического анализа раздел «Аннотированный библиографический справочник книг по надёжности», охватывающий книги по надёжности, вышедшие на русском языке (включая переводные книги) с 1954 по 1971 годы.

В методах анализа надёжности прослеживается ряд направлений.

Первыми в теории надёжности были разработаны методы, основанные на теории вероятности и анализе законов распределения систем, содержащих большое число элементов. Это направление исследований отечественных и зарубежных авторов можно проследить по монографии Шора Я.Б. [2] и по книге «Справочник по расчёту надёжности» Б.А. Козлова и И.А. Ушакова [3], включая ссылки авторов на многочисленные источники. Авторы справочника [3], изданного в 1975 году, отмечают: «Как известно, теория надёжности – молодая наука, ей нет ещё двадцати лет». Считается, что до 1954 г. все усилия для повышения надёжности в различных отраслях деятельности, включая строительную отрасль, были сконцентрированы на всестороннем улучшении качества продукции. Прилагательное «надёжный» применялось как синоним прилагательному «качественный». Однако в монографии Н.Н. Ермолаева и В.В. Михеева «Надёжность оснований сооружений» [4] показано, что, вопреки бытующему мнению, ряд методов теории надёжности, а именно «Метод расчёта строительных конструкций по предельному состоянию» уходит своими корнями в разработки отечественных авторов в сороковые и даже более ранние годы 20-го века. По данным Н.Н. Ермолаева и В.В. Михеева [4] среди таких книг: монографии «К вопросу общего коэффициента безопасности» (Стрелецкий Н.С. 1935 г.); «Статистическое обоснование расчётных коэффициентов. Материалы к теории расчёта по предельным состояниям» (Ржаницын А.Р. 1949 г.); «Расчёт строительных конструкций по предельным состояниям» (под ред. В.М. Келдыша. 1951 г.) и другие. Как видно первые исследования по одному из важнейших направлений будущей теории надёжности были проведены и опубликованы в России, за много лет до разработок, выполненных в США и других странах мира.

Хенли Э.Дж. и Куамото Х. в монографии «Надёжность технических систем и оценка риска» [1] утверждают, что в технической литературе до 1964 года не было ни одной статьи по теории надёжности, основанной на Булевой алгебре. Авторы этой книги в предисловии отмечают, что в литературе по химической промышленности первые статьи по этому направлению теории надёжности появились позже к 1970 году.

Анализ отказов с помощью «дерева отказов» был разработан Х.А. Уотсоном в 1961 – 1962 гг. при написании отчёта по анализу системы управления запуском ракеты «Минитмен» по контракту с Военно-воздушными силами США [1]. При этом Уотсон Х.А. применил в отчёте для анализа отказов Булеву алгебру. Первыми публикациями по надёжности, основанными на Булевой логике (алгебре) и работах Уотсона Х.А., были доклады, представленные в 1964 г. на симпозиуме по надёжности в университете штата Вашингтон. При этом следует ещё раз подчеркнуть, что один из разделов теории надёжности, а именно «метод расчёта строительных конструкций по предельному состоянию», опубликованный в трудах симпозиума, был разработан российскими учёными задолго до появления самого термина «теория надёжности» - в начале 30-х годов прошлого столетия.

Теория риска появилась значительно позже.

В 1977 году вышел первый отчёт по оценке риска «Анализ безопасности реактора WASH-1400», подготовленный Комиссией по атомной энергии США под руководством профессора Н. Расмуссена [1]. В этом отчёте впервые появился термин риск как количественная величина опасности, определяемая на основе Булевой алгебры (Булевой логики). Профессор Н. Расмуссен и руководимая им группа исследователей проанализировали широкий спектр аварий, относящихся к атомной энергетике, численно классифицировали их в порядке вероятности появления, а затем оценили потенциальные последствия в отношении населения. Для этого профессор Н. Расмуссен и его группа, в указанном выше отчёте, использовали, разработанные Уотсоном Х.А. решения по анализу отказов и понятия «Дерево событий», «Дерево отказов», и впервые выполнили количественную оценку риска с оценкой последствий для населения на основе Булевой логики. Данные этого отчёта и предложенные там методы были использованы и развиты в книге [1], которая впервые была опубликована в 1980г. в США, и содержит, после краткого исторического обзора, различные методы изучения степени риска на основе количественных моделей Булевой алгебры. Эти методы включают такие исследования как: предварительный анализ опасностей, анализ видов отказов и возможных последствий, анализ методов оценки риска, основанных на понятиях «дерево событий» и «дерево отказов». В работе [1] кроме анализа риска методами Булевой алгебры впервые было показано, что надёжность системы может быть получена с использованием цепей Маркова. Данная книга была переведена на русский язык и издана в России в 1984 году. Ярким представителем данного подхода к оценкам риска в настоящее время является контр-адмирал флота России профессор Рябинин И.А. [5], который исследует деревья событий и деревья отказов с применением Булевой алгебры. Как видно из исторического обзора, представленного в книгах [1, 3, 4, 5], публикаций по количественной оценке риска на основе суммирования законов распределения опасных параметров в период до 1980г. ни в одной из стран Мира не встречалось.

Параллельно с применением Булевой алгебры развивались и другие математические модели оценки риска.

В 80-х годах для оценок риска в морской практике ленинградский учёный Абчук В.А. применил математический аппарат, основанный на анализе функций полезности [6]. Используя данные функции и теорию вероятностей, автор книги [6] предложил математические модели количественной оценки риска применительно к проблемам морского судоходства.

В конце 80-х годов в Германии для принятия технических решений Мушек Э. и Мюллер П. использовали в оценках риска анализ специальных функций, описывающих экстремумы [7]. В разработанных методах имеются как качественные, так и количественные оценки риска. Перевод этой книги на русский язык был осуществлён в 1990 г.

Следует отметить ещё одно направление развития теории риска, возникшее в 80-х годах прошлого столетия, в котором под риском в технике, экономике и финансах стали понимать среднеквадратическое отклонение исследуемого параметра (технического, экономического, финансового). Этот подход вполне объясним, так как с увеличением среднеквадратического отклонения увеличивается разброс параметра до значения, при котором параметр становится опасным (или недопустимо опасным). Это направление исследований следует считать то же количественной оценкой риска, так как среднеквадратическое отклонение – это уже количественная характеристика опасного параметра. Данный подход используют потому, что чем больше разброс принимаемой величины, тем она опаснее. В экономике и финансах яркими представителями этого направления являются лауреаты Нобелевской премии по экономике 2003 г. профессора Р. Энгл и К. Гренджер - авторы теории волатильности и анализа экономических временных рядов с общими трендами. Понятие волатильность представляет собой среднеквадратическое отклонение (доходности инвестиций, доходности акций, изменения ВВП, потребительских цен, процентных ставок, биржевого курса и др.). Волатильность характеризует степень рассеяния возможных значений исследуемого параметра вокруг среднего значения экономического или финансового инструмента (параметра). Поэтому волатильность – мера риска любого из перечисленных в скобках (см. выше) финансовых инструментов. Например, высокая доходность (от инвестиций или акций) при малой волатильности лучше, чем такая же высокая доходность (от инвестиций или акций) при большой волатильности. Другими словами надо вкладывать средства (инвестировать, покупать акции) в первом случае и отказываться от вложения средств (инвестировать, покупать акции) во втором случае.

И наконец, начиная с 1982 года, появились работы по оценке риска, основанные на суммировании (композиции) плотностей распределения физически определяемых или измеряемых величин. Математические зависимости теории риска, полученные автором статьи на основе формулы свёртки, представляют собой теоретико-вероятностные модели сравнения между собой среднего значения (A) и среднеквадратического отклонения (σ_A) опасного параметра транспортного сооружения с такими же характеристиками данного параметра (A_{kp} и $\sigma_{A_{kp}}$), находящегося в критическом состоянии, при реализации которого риск причинения вреда равен 50% (0,5). При суммировании нормальных, логнормальных распределений и распределений Шарлье автор использует функцию Лапласа, что приводит к появлению вероятности 0,5 в структуре расчётных формул теории риска. Для случая суммирования нормальных распределений формула оценки риска имеет вид:

$$r = 0,5 - \Phi \left[\frac{A - A_{kp}}{\sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_{A_{kp}}^2}} \right], \quad (1)$$

где $\Phi[u]$ - интегральная функция Лапласа.

Использование в расчётных формулах критического состояния, при котором вероятность причинения вреда равна 0,5 делает такие формулы более наглядными (рис. 1 и 2) по сравнению с формулами, в основе которых использован параметр, соответствующий предельному состоянию [8].

Действительно для любого нежелательного события значению вероятности 0,5 соответствуют ситуации:

- когда удерживающие силы равны силам сдвигающим, или удерживающие моменты равны моментам сдвигающим;
- когда расстояние до препятствия на дороге равно длине остановочного пути автомобиля, или расстояние видимости на участке дороги равно длине остановочного пути автомобиля;
- когда силы, удерживающие транспортное средство на кривой в плане, при заданной скорости движения и соответствующем коэффициенте сцепления, равны силам сдвигающим;
- когда выгоды от реализуемого проекта равны затратам на его реализацию;
- когда сопротивление материала или грунта сдвигу равно критическому касательному напряжению, и другие равенства фактического и критического параметров, приводящие к вероятности 0,5.

Этим отличаются результаты исследований автора статьи от результатов исследований, других авторов, использующих вместо критических состояний (см. рис. 1 и 2) предельные состояния [8], вероятность возникновения которых не установлена.

Как видно в математических моделях теории риска учитывается качество исполнения опасного параметра в виде сравнения его математического ожидания (A) и среднеквадратического отклонения (σ_A) с математическим ожиданием критической величины (A_{kp}) и её стандартным отклонением ($\sigma_{A_{kp}}$). Другими словами, уменьшение математического ожидания параметра A и/или увеличение характеристики разброса σ_A этого параметра (геометрического, транспортно-эксплуатационного или прочностного) относительно допускаемой величины параметра $A_{доп}$ и допуска на её разброс $\sigma_A^{доп}$ приводит к увеличению риска причинения вреда пользователям (см. рис. 1 и 2). Иногда достаточно уменьшить среднеквадратическое отклонение (σ_A) исследуемого параметра до допустимого значения ($\sigma_A^{доп}$), что бы риск причинения вреда уменьшился до приемлемого уровня, что соответствует ситуации, показанной на рис. 1.

Используя данный подход, по формулам теории риска получают вероятность причинения вреда (риск) пользователям продукцией, имеющей установленные значения параметра: при проектировании дорог это проектное (A_{np}) и/или расчётное ($A_{расч}$) значение и допустимое среднеквадратическое отклонение ($\sigma_A^{доп}$); при строительстве и эксплуатации дорог – среднее значение ($A_{ср}$) и фактическое среднеквадратическое отклонение ($\sigma_A^{факт}$) параметра. При превышении фактического риска над допустимым значением применяют инженерные решения, позволяющие управлять риском в соответствии с требованиями к безопасности продукции, изложенными в одном из самых рыночных законах Российской Федерации – в законе № 184-ФЗ «О техническом регулировании» [9].

Вывод расчётных формул теории риска, основанный на критических параметрах, соответствующих 50% риску, показан в работах [10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20]. Автор названных работ и его ученики [21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38] применяют именно этот подход к оценке риска и надёжности в своих исследованиях.

Figure 1. Increase in risk of harm to the road users depending on the quality of construction (with an increase in the mean-square deviation with respect to allowance to its deviation):
a) design position of the geometric or strength parameter with an permissible spread of its deviations; b) the actual position of parameter corresponding to the design value with unacceptable spread of its deviation

Рисунок 2. Увеличение риска причинения вреда пользователям дороги в зависимости от качества строительства (при уменьшении величины геометрического или прочностного параметра и увеличении среднеквадратического отклонения относительно допуска на его отклонение): а) проектное положение параметра с допустимым разбросом его отклонений; б) фактическое положение перенесённого в натуре (или ослабленного) параметра при недопустимом разбросе его отклонений

Figure 2. Increase in risk of harm to the road users depending on the quality of construction (with a decrease in the value of the geometric or strength parameter and increase in the mean-square deviation with respect to allowance to its deviation): а) the design position of parameter with a permissible spread of its deviations; б) the actual position of the transferred in nature (or weakened) parameter with unacceptable spread of its deviations

Следует отметить, что в других работах, например в монографии [8], при выводе расчётных формул риска и надёжности проектируемого или существующего сооружения используют в формуле свёртки не критический параметр (соответствующий риску 0,5), а предельный параметр, соответствующий предельному состоянию сооружения и, как правило, неизвестному значению риска. В этом случае формулы теории риска получают суммированием закона распределения фактического параметра (A и σ_A) с законом распределения такого же параметра, но находящегося для данного объекта в предельном состоянии ($A_{\text{ПРЕД}}$ и $\sigma_{A_{\text{ПРЕД}}}$). При суммировании нормальных распределений используют интегральную функцию нормального закона $F[u]$, которая приводит к следующей формуле для оценки риска [8]:

$$r = 1 - F \left[\frac{A - A_{\text{пред}}}{\sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_{A_{\text{ПРЕД}}}^2}} \right], \quad (2)$$

В ГОСТ Р 54257-2010 [39] указывается, что предельное состояние строительного объекта – это состояние, при превышении которого его эксплуатация **недопустима**, **затруднена** или **нецелесообразна**. Можно без больших усилий показать, что каждому из этих состояний соответствуют разные значения риска потери прочности или устойчивости сооружения, которые могут находиться в пределах от 0,5 до 1. Так, по данным этого же нормативного документа [39] существует три группы предельного состояния:

- первая группа предельного состояния – это **предел несущей способности** (в этой группе риск потери прочности предельного состояния (обладающего параметрами $A_{\text{пред}}$ и $\sigma_{A_{\text{ПРЕД}}}$) ближе к единице, чем к 0,5);
- вторая группа предельного состояния, – это **предел нормальной эксплуатации** сооружения (в этом случае риск для предельного состояния (для закона распределения с параметрами $A_{\text{пред}}$ и $\sigma_{A_{\text{ПРЕД}}}$) ближе к 0,5, чем к единице, и может быть несколько меньше 0,5);
- третья группа – это **предел особого состояния** – возникает при особых воздействиях, сочетаниях нагрузок и ситуациях, при которых разрушение сооружения сопровождается катастрофическими последствиями (здесь риск потери прочности или устойчивости предельного состояния (для параметров $A_{\text{пред}}$ и $\sigma_{A_{\text{ПРЕД}}}$) стремится к единице и наиболее удалён от 0,5).

Другими словами само предельное состояние в формуле (2) имеет плавающее или **не установленное значение риска**, относительно которого определяется риск причинения вреда для сооружения с проектными (расчётными) или фактическими параметрами A и σ_A . Следовательно, установленный по формуле (2) риск может значительно отличаться от действительного значения, так как опасность (риск) предельного состояния не определён.

Предельные состояния первой группы: могут соответствовать пластическим, хрупким и усталостным разрушениям; могут быть вызваны потерей устойчивости формы и потерей устойчивости положения; могут возникнуть в результате ползучести, пластичности и сдвигов в слоях и на границах слоёв дорожной конструкции, привести к возникновению деформаций в покрытиях (появлению трещин, образованию колеи и выбоин). Эти деформации возникают в

связи с влиянием на процесс разрушения подвижной нагрузки, погодных и климатических факторов, и приводят к полному или частичному прекращению эксплуатации сооружения. Поэтому оценка риска нуждается в более строгих решениях, в которых вероятность предельного состояния известна (риск предельных параметров $A_{\text{ПРЕД}}$ и $\sigma_{A_{\text{ПРЕД}}}$ должен быть установлен до начала расчёта и оценки по формуле (2) риска разрушения проектируемого сооружения). В противном случае оценка риска по формуле (2) не является однозначной. Конечно можно, используя формулу (1), установить риск, который допускают параметры предельного состояния:

$$r = 0,5 - \Phi \left[\frac{A_{\text{пред}} - A_{\text{кр}}}{\sqrt{\sigma_{A_{\text{ПРЕД}}}^2 + \sigma_{A_{\text{КР}}}^2}} \right]$$

И если риск предельного состояния не соответствует по величине **пределу несущей способности**, описанному в ГОСТ Р 54257-2010 [39], то следует величину $A_{\text{пред}}$ изменить до такого значения, при котором риск приблизится к единице, так как в данном случае речь идёт о первой группе предельного состояния, то есть о пределе несущей способности. Подставив новые значения параметров $A_{\text{ПРЕД}}$ и $\sigma_{A_{\text{ПРЕД}}}$ в формулу (2) мы получим значение риска проектируемого сооружения максимально приближенное к ожидаемому (действительному) значению для первой группы предельного состояния. По этой схеме можно внести уточнения в оценку риска для всех групп предельного состояния, описанных в ГОСТ [39]. При таком решении указанной проблемы значения риска, рассчитанные по формулам (1) и (2), будут практически совпадать при любом из нормированных предельных состояний [39], тогда как в настоящее время эти формулы дают одинаковые решения только при риске предельного состояния близком или равном 0,5, что будет показано ниже. Решение проблемы упрощается и уточняется, если расчёт риска выполнять сразу по формуле (1), у которой имеется внутренний математический аппарат, позволяющий устанавливать критические параметры по условиям 50%-го риска:

- когда используют универсальные математические модели, разработанные автором для определения параметров $A_{\text{КР}}$ и $\sigma_{A_{\text{КР}}}$, представленные в работах [10, 12, 13, 14];
- когда используют другие решения автора [11 – 13. 15 – 18], основанные на равенствах удерживающих сил (моментов) сдвигающим силам (моментам);
- когда расстояние до препятствия на дороге равно длине остановочного пути транспортного средства [12 – 14];
- когда ширина покрытия (проезжей части и краевых полос) равна критической ширине покрытия, при которой риск разъезда транспортных средств с заданными (расчётными) скоростями на двухполосных дорогах и риск опережения на автомагистралях равен 50% [12 – 14];
- когда выгоды от реализуемого проекта равны затратам на его реализацию [19];
- когда факторы, ухудшающие состояние окружающей среды соответствуют 50%-у риску деградации природных ресурсов [20] и другие математические модели, представленные выше.

При выводе формулы (2) используют функцию нормального распределения, а не функцию Лапласа, так как вероятность, при которой реализуется предельное значение параметра, не может быть предварительно установлена в виде значения 0,5 (в оценке предельного состояния не всегда используют равенство сил сдвигающих и удерживающих).

При учёте равенства сил сдвигающих и удерживающих, оценку риска потери устойчивости сооружения можно выполнить по формуле, содержащей в своей структуре:

- интегральную функцию Лапласа и коэффициент устойчивости ($K_{уст}$):

$$r = 0,5 - \Phi \left[\frac{K_{уст} - 1}{\sigma_{K_{уст}}} \right], \quad (3)$$

где $\Phi[u]$ - интегральная функция Лапласа;

- интегральную функцию нормального распределения $F[u]$ и коэффициент устойчивости ($K_{уст}$):

$$r = 1 - F \left[\frac{K_{уст} - 1}{\sigma_{K_{уст}}} \right], \quad (4)$$

где $F[u]$ - интегральная функция нормального распределения.

При $K_{уст} = 1$ риск, определяемый по интегральной функции нормального распределения, равен 0,5 (так как при использовании функции $F[u]$ имеем $r = 1 - F(0) = 1 - 0,5 = 0,5$). Другими словами формулы (1), (2), (3) и (4) в случае равенства удерживающих и сдвигающих сил (моментов) дают одинаковые результаты. Формулы (3) и (4) получают на основе формул (1) и (2) соответственно. При этом понятно, что $\sigma_{A_{кр}} = \sigma_{A_{пред}}$

и $\sigma_{K_{уст}} = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_{A_{пред}}^2}$. Но предварительно надо доказать, что значение предельного состояния, используемое в формуле (2) соответствует критическому значению, а в формуле (4) этого доказывать не надо, так как предельное значение коэффициента устойчивости равно единице (вытекает из равенства удерживающих и сдвигающих сил).

В ряде зарубежных [40, 41, 42, 43] и некоторых отечественных работах [44, 45], посвящённых обрушению склонов и оползанию откосов, при определении уровня надёжности сооружения используют индекс надёжности (β), который представляет собой квантиль подынтегральной функции ($\beta = u$) в формулах, применяемых для оценки уровня надёжности и риска обрушения сооружения или оползневого склона. На основе работ [41, 43] можно показать, что риск обрушения оползневого склона зависит от разности между математическими ожиданиями предельной прочности (μ_R) и фактической нагрузки (μ_L), и определяется интегральной функцией нормального распределения $F[u]$ по формуле

$$r = 1 - F \left[\frac{\mu_R - \mu_L}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_L^2}} \right], \quad (5)$$

где σ_R и σ_L - среднеквадратические отклонения предельной прочности и нагрузки.

В результате преобразований квантили подынтегральной функции получают другую формулу, в числителе которой натуральные логарифмы от математических ожиданий предельной прочности и нагрузки, а в знаменателе под корнем – сумма квадратов коэффициентов вариации предельной прочности и нагрузки:

$$r = 1 - F \left[\frac{\ln(\mu_R) - \ln(\mu_L)}{\sqrt{C_{V_R}^2 + C_{V_L}^2}} \right], \quad (6)$$

где $F[u]$ - интегральная функция нормального распределения.

Если фактическая плотность распределения надвигается на критическую плотность распределения, риск возникновения нежелательного события, определяемый по формулам (1) и (2) стремится к 0,5.

В случае, когда фактическая плотность распределения заходит за критическую плотность – риск превышает значение 0,5 и в пределе стремится к единице.

Установив по любой из показанных формул риск причинения вреда пользователям (природе, окружающей среде) можно оценить уровень надёжности данного решения по имеющейся зависимости $P_H = 1 - r$, или применить к оценке надёжности выражения:

$$P_H = 0,5 + \Phi \left[\frac{A - A_{kp}}{\sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_{A_{kp}}^2}} \right]; \quad (7)$$

$$P_H = F \left[\frac{A - A_{пред}}{\sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_{A_{пред}}^2}} \right]; \quad (8)$$

$$P_H = 0,5 + \Phi \left[\frac{K_{уст} - 1}{\sigma_{K_{уст}}} \right]; \quad (9)$$

$$P_H = F \left[\frac{K_{уст} - 1}{\sigma_{K_{уст}}} \right]; \quad (10)$$

$$P_H = F \left[\frac{\mu_R - \mu_L}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_L^2}} \right]; \quad (11)$$

$$P_H = F \left[\frac{\ln(\mu_R) - \ln(\mu_L)}{\sqrt{C_{V_R}^2 + C_{V_L}^2}} \right]. \quad (12)$$

Выводы

1. Практически все проанализированные и представленные в данной статье математические модели теории риска и теории надёжности основаны на законах распределения случайной величины. Эти решения представляют собой модели сравнения взаимного положения плотностей распределения фактического и **критического** параметров на оси абсцисс [формулы (1), (3), (7) и (9)], или фактического и **предельного** параметров [формулы (2), (4), (5), (6) и (8)].
2. Когда предельное состояние соответствует вероятности 0,5 (другими словами, когда предельное состояние равно критическому состоянию) оба подхода дают одинаковые значения риска и надёжности.
3. При использовании формул (1) и (2) или (7) и (8) расхождение в оценках риска и надёжности, могут оказаться существенными. Это связано с тем, что предельное состояние не всегда может быть хорошо обосновано. Напомним, что вероятность предельного состояния может колебаться от 0,5 до 1,0.
4. Строгость подхода к оценке риска и надёжности на основе сравнения фактического, проектного и расчётного состояния с критическим состоянием основана на хорошо обоснованном физическом смысле критического состояния, когда риск его возникновения определяется на основе равенства напряжений, сил, моментов деструктивным напряжениям, силам, моментам, при появлении которых ожидаемые риски равны 0,5.
5. При оценке риска автор не применяет «анализ дерева неисправностей», который изложен в ГОСТ Р 51 901.13-2005, [46] потому что в данных исследованиях все устанавливаемые риски несовместны (происходят по схеме «или-или» и подлежат снижению до допустимого значения на всех стадиях жизненного цикла: при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружения, как этого требует Закон РФ №184-ФЗ «О техническом регулировании» [1].
6. Исторический обзор развития теории риска за рубежом и в России показан потому, что иногда возникает путаница в датах возникновения теории надёжности и теории риска, что является недопустимым по отношению к их авторам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хенли Э.Д., Кумамото Х. Надёжность технических систем и оценка риска: перевод с англ. / Э.Д. Хенли, Х. Кумамото; Машиностроение, 1984. – 528 с.
2. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надёжности / Я.Б. Шор; Изд. «Советское радио», 1962. – 552 с.
3. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчёту надёжности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики / Б.А. Козлов, И.А. Ушаков; Изд. «Советское радио», 1975. – 472 с.
4. Ермолаев Н.Н., Михеев В.В. Надёжность оснований сооружений / Н.Н. Ермолаев, В.В. Михеев; Стройиздат, Ленинград, 1976. – 152 с.
5. Рябинин И.А. Надёжность и безопасность структурно-сложных систем / И.А. Рябинин; СПб.: Политехника, Санкт Петербург, 2000. – 248 с.
6. Абчук В.А. Теория риска в морской практике / В.А. Абчук; - Л.: Судостроение, 1983.-152 с.
7. Мушик Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер; – М.: Мир, 1990. – 206 с.
8. Сеницын А.П. Расчет конструкции на основе теории риска / А.П. Сеницын.– М.: Стройиздат, 1985.-304 с.
9. Федеральный Закон № 184-ФЗ. О техническом регулировании. – Введ. 2002–27–12. – М.: изд-во Омега-Л, 2009. – 56 с.
10. Столяров В.В. Определение средних значений и средних квадратических отклонений в законах распределения критических величин [Текст] / В.В. Столяров // Проблемы транспорта и транспортного строительства: сб. науч. тр. / СГТУ. - Саратов, 2006. - Ч. 1. - С. 5-22.
11. Столяров В.В. Основные формулы теории риска, основанные на распределении Шарлье [Текст] / В.В. Столяров // Проблемы транспорта и транспортного строительства: сб. науч. тр. / СГТУ. - Саратов, 2005. - Ч. 1. - С. 12-18.
12. Столяров В.В. Проектирование автомобильных дорог по условию обеспечения безопасности движения с использованием теории риска: дис. ... докт. техн. наук / В.В. Столяров – Москва, 1995. – 337 с.
13. Столяров В.В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска: монография в 2-х частях / В.В. Столяров; Сарат. гос. техн. ун-т. - Саратов: СГТУ, 1994. Ч. 1 – 184 с.
14. Столяров В.В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска: монография в 2-х частях / В.В. Столяров; Сарат. гос. техн. ун-т. - Саратов: СГТУ, 1994. Ч. 2. – 232 с.
15. Столяров В.В. Формулы теории риска, основанные на логарифмически нормальном распределении [Текст] / В.В. Столяров // Проблемы транспорта и транспортного строительства: сб. науч. тр. / СГТУ. - Саратов, 2005. - Ч. 1. - С. 4-12.
16. Столяров В.В. Формулы теории риска, основанные на нормальном законе распределения [Текст] / В.В. Столяров // Проблемы транспорта и транспортного строительства: сб. науч. тр. / СГТУ. - Саратов, 2005. - Ч. 2. - С. 3-14.
17. Столяров В.В. Функция Лапласа и вычисление вероятностей при нормальном и биномиальном распределениях [Текст] / В.В. Столяров // Проблемы транспорта

- и транспортного строительства: межвуз. науч. сб. / СГТУ. - Саратов, 2004. - С. 3-25.
18. Столяров В.В. Новый подход к гамма распределению при обосновании расчетных расходов мостовых переходов / В.В. Столяров, Э.Ю. Шмагина // Известия Орловского гос. техн. ун-та. 2007. №3/15 (537). – С. 79-81.
 19. Столяров В.В. Анализ риска реализации транспортных проектов по уровню окупаемости [Текст] / В.В. Столяров // Автомобильные дороги, №1-2. М.: 1995. С. 27-31.
 20. Столяров В.В. Совершенствование методов применения принципов технического регулирования в дорожной деятельности: моногр. / В.В. Столяров, А.П. Бажанов; - Пенза: ПГУАС, 2014. – 212 с.
 21. Вальтер О.Ф. Применение теории риска при проектировании автомобильных дорог на участках с затяжными подъёмами: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.Ф. Вальтер – Волгоград – 2004. – 16 с.
 22. Глухов А.Т. Разработка эффективного метода защиты придорожной местности от загрязнения противогололёдными химическими веществами: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Т. Глухов – Пенза – 2001. – 20 с.
 23. Дмитриева И.В. Организационно-технические и инженерные мероприятия для повышения безопасности дорожного движения на магистральных улицах города: автореф. дис. ... канд. техн. наук / И.В. Дмитриева – Волгогра – 2011. – 17 с.
 24. Жилина О.М. Повышение ровности покрытий автомобильных дорог по условию обеспечения комфорта, удобства и безопасности движения (с использованием теории риска): автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.Н. Жилина – Волгоград – 2003. – 21 с.
 25. Кожин Д.М. Проектирование вертикальных кривых и ширины покрытия городских дорог и улиц с использованием теории риска: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д.М. Кожин – Волгоград – 2001. – 20 с.
 26. Кокодеева Н.Е. Оценка качества существующих дорожных одежд нежесткого типа с учетом вариации влажности грунта земляного полотна (с позиции теории риска): дис. ... канд. техн. наук. / Н.Е. Кокодеева – Волгоград, 2001. – 148 с.
 27. Кокодеева Н.Е. Методологические основы комплексной оценки надёжности автомобильных дорог в системе технического регулирования дорожного хозяйства: дис. ... докт. техн. наук / Н.Е. Кокодеева – Санкт-Петербург, 2012. – 340 с.
 28. Левашин Е.Ю. Учёт вероятностной сущности времени распада битумных эмульсий при строительстве дорожных одежд нежесткого типа (на основе теории риска): автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е.Ю. Левашин – Волгоград – 2010. – 20 с.
 29. Мохнев В.А. Повышение безопасности движения в проектах ремонта и реконструкции автомобильных дорог (на основе теории риска): автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.А. Мохнев – Волгоград, 2001. – 16 с.
 30. Осипова Т.В. Проектирование автомобильных дорог по условию обеспечения безопасности движения автомобилей на участках возможного глиссирования (с использованием теории риска): автореф. дис. ... канд. техн. наук / Т.В. Осипова – Волгоград – 2005. – 20 с.

31. Панкратова А.В. Теория риска в совершенствовании методов оценки эффективности и обоснования длины участков, запрещающих обгон: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.В. Панкратова - Волгоград – 2006. – 16 с.
32. Плетминцев С.А. Повышение безопасности движения при эксплуатации автомобильных дорог с позиции теории риска: автореф. дис. ...канд. техн. наук / С.А. Плетминцев – Волгоград – 2011. – 21 с.
33. Семёнова Н.С. Проектирование и эксплуатация транспортных развязок по условию обеспечения безопасности движения на основе теории риска: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.С. Семёнова – Волгоград, 2012. – 19 с.
34. Скрыльников И.Г. Проектирование и эксплуатация земляного полотна автомобильных дорог в районах распространения многолетнемёрзлых грунтов (с использованием теории риска): автореф. дис. ... канд. техн. наук / И.Г. Скрыльников – Волгоград, 2012. – 21 с.
35. Строкин А.А. Предупреждение деформаций при промерзании дорожных конструкций с позиции теории риска: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.А. Строкин – Волгоград – 2006. – 20 с.
36. Усова Л.В. Повышение эффективности обоснования перспективной интенсивности движения и технической категории дороги с использованием теории риска: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Л.В. Усова – Волгоград – 2006. – 16 с.
37. Шмагина Э.Ю. Теория риска в повышении надёжности обоснования расчётных расходов при проектировании мостовых переходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Э.Ю. Шмагина – Волгоград – 2007. – 20 с.
38. Щёголева Н.В. Риск потери информации как обобщённая характеристика водителя при проектировании и эксплуатации автомобильных дорог: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.В. Щёголева - Волгоград – 2006. – 24 с.
39. ГОСТ Р 54257-2010. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2010. – 20 с.
40. Alonso E.E. Risk analysis of slopes and its application to slopes in Canadian sensitive clays / E.E. Alonso // *Geotechnique*. – 1976. – №26 (3). P. 453–472.
41. Baecher G.B. Reliability and statistics in geotechnical engineering / G.B. Baecher and J.T. Christian. – John Wiley and Sons, Chichester. – New York, 2003.
42. Cornell C.A. A probability-based structural code / C.A. Cornell. – *Journal of the American Concrete Institute*. – 1969. – No66 (12). – Pp. 974-985.
43. Ditlevson O. Structural reliability and the invariance problem / O. Ditlevson. – Technical report 22. – Solid mechanics division. – University of Waterloo. – Canada, 1973.
44. Маций С.И. Противооползневая защита и управление риском: дис. ... д-ра. техн. наук / С.И. Маций – Волгоград: ВолгГАСУ, 2010. – 380 с.
45. Плешаков Д.В. Диагностика оползневых участков автомобильных дорог на основе методики оптимального риска / Д.В. Плешаков, С.И. Маций // *Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архитект.* – 2008. – Вып.10 (29). – С. 200–205.
46. ГОСТ Р 51 901.1-2002 Менеджмент риска. Управление надёжностью. Анализ риска технологических систем: Изд. офиц. – Введён 07.06.2002 – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 22 с.

Stolyarov Viktor Vasilevich

Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov
E-mail: stolyarov_v_v@mail.ru

Shchegoleva Natalia Vyacheslavovna

Yuri Gagarin state technical university of Saratov, Russia, Saratov
E-mail: Shchegoleva123@mail.ru

Some historical boundaries of developing risk theory (from initiation down to our days)

Abstract. This article gives a historical overview of developing risk theory in comparison with the stages of developing theory of reliability, both abroad and in our country (in the USSR and the Russian Federation). The basic directions of the risk assessment and research in all fields of human activity are shown. The authors named the significant stages of developing these theories with reference to the countries, where someone or other results of their formation were achieved. The special attention is given to the authors of the various directions of risk theory and reliability one, and at the same time the contribution of domestic scientists is shown at the stages of the initiation of both sciences. It is chronologically demonstrated that the theory of risk appeared well after theory of reliability. Analysis of the risk theory development was carried out essentially for the first time and it was made in connection with the appearance of works freely interpreting the stages of the risk theory formation which is unacceptable in relation to their authors.

Keywords: safety; theory of reliability; theory of risk; refusal; quantitative value of hazard; Laplace function; integral function of normal law; critical parameters; parameters and types of a limit state

REFERENCES

1. Khenli E.D., Kumamoto Kh. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i otsenka riska: perevod s angl. / E.D. Khenli, Kh. Kumamoto; Mashinostroenie, 1984. – 528 s.
2. Shor Ya.B. Statisticheskie metody analiza i kontrolya kachestva i nadezhnosti / Ya.B. Shor; Izd. «Sovetskoe radio», 1962. – 552 s.
3. Kozlov B.A., Ushakov I.A. Spravochnik po raschetu nadezhnosti apparatury radioelektroniki i avtomatiki / B.A. Kozlov, I.A. Ushakov; Izd. «Sovetskoe radio», 1975. – 472 s.
4. Ermolaev N.N., Mikheev V.V. Nadezhnost' osnovaniy sooruzheniy / N.N. Ermolaev, V.V. Mikheev; Stroyizdat, Leningrad, 1976. – 152 s.
5. Ryabinin I.A. Nadezhnost' i bezopasnost' strukturno-slozhnykh sistem / I.A. Ryabinin; SPb.: Politehnika, Sankt Peterburg, 2000. – 248 s.
6. Abchuk V.A. Teoriya riska v morskoy praktike / V.A. Abchuk; - L.: Sudostroenie, 1983.-152 s.
7. Mushik E. Metody prinyatiya tekhnicheskikh resheniy / E. Mushik, P. Myuller; – M.: Mir, 1990. – 206 s.
8. Sinitsyn A.P. Raschet konstruktsii na osnove teorii riska / A.P. Sinitsyn.– M.: Stroyizdat, 1985.-304 s.

9. Federal'nyy Zakon № 184-FZ. O tekhnicheskoy regulirovaniy. – Vved. 2002–27–12. – M.: izd-vo Omega-L, 2009. – 56 s.
10. Stolyarov V.V. Opredelenie srednikh znacheniy i srednikh kvadraticheskikh otkloneniy v zakonakh raspredeleniya kriticheskikh velichin [Tekst] / V.V. Stolyarov // Problemy transporta i transportnogo stroitel'stva: sb. nauch. tr. / SGTU. - Saratov, 2006. - Ch. 1. - S. 5-22.
11. Stolyarov V.V. Osnovnye formuly teorii riska, osnovannye na raspredelenii Sharl'e [Tekst] / V.V. Stolyarov // Problemy transporta i transportnogo stroitel'stva: sb. nauch. tr. / SGTU. - Saratov, 2005. - Ch. 1. - S. 12-18.
12. Stolyarov V.V. Proektirovanie avtomobil'nykh dorog po usloviyu obespecheniya bezopasnosti dvizheniya s ispol'zovaniem teorii riska: dis. ... dokt. tekhn. nauk / V.V. Stolyarov – Moskva, 1995. – 337 s.
13. Stolyarov V.V. Proektirovanie avtomobil'nykh dorog s uchetom teorii riska: monografiya v 2-kh chastyakh / V.V. Stolyarov; Sarat. gos. tekhn. un-t. - Saratov: SGTU, 1994. Ch. 1 – 184 s.
14. Stolyarov V.V. Proektirovanie avtomobil'nykh dorog s uchetom teorii riska: monografiya v 2-kh chastyakh / V.V. Stolyarov; Sarat. gos. tekhn. un-t. - Saratov: SGTU, 1994. Ch. 2. – 232 s.
15. Stolyarov V.V. Formuly teorii riska, osnovannye na logarifmicheski normal'nom raspredelenii [Tekst] / V.V. Stolyarov // Problemy transporta i transportnogo stroitel'stva: sb. nauch. tr. / SGTU. - Saratov, 2005. - Ch. 1. - S. 4-12.
16. Stolyarov V.V. Formuly teorii riska, osnovannye na normal'nom zakone raspredeleniya [Tekst] / V.V. Stolyarov // Problemy transporta i transportnogo stroitel'stva: sb. nauch. tr. / SGTU. - Saratov, 2005. - Ch. 2. - S. 3-14.
17. Stolyarov V.V. Funktsiya Laplasya i vychislenie veroyatnostey pri normal'nom i binominal'nom raspredeleniyakh [Tekst] / V.V. Stolyarov // Problemy transporta i transportnogo stroitel'stva: mezhvuz. nauch. sb. / SGTU. - Saratov, 2004. - S. 3-25.
18. Stolyarov V.V. Novyy podkhod k gamma raspredeleniyu pri obosnovanii raschetnykh raskhodov mostovykh perekhodov / V.V. Stolyarov, E.Yu. Shmagina // Izvestiya Orlovskogo gos. tekhn. un-ta. 2007. №3/15 (537). – S. 79-81.
19. Stolyarov V.V. Analiz riska realizatsii transportnykh projektov po urovnyu okupaemosti [Tekst] / V.V. Stolyarov // Avtomobil'nye dorogi, №1-2. M.: 1995. S. 27-31.
20. Stolyarov V.V. Sovershenstvovanie metodov primeneniya printsiptov tekhnicheskogo regulirovaniya v dorozhnoy deyatel'nosti: monogr. / V.V. Stolyarov, A.P. Bazhanov; - Penza: PGUAS, 2014. – 212 s.
21. Val'ter O.F. Primenenie teorii riska pri proektirovaniy avtomobil'nykh dorog na uchastkakh s zatyazhnymi pod'emami: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / O.F. Val'ter – Volgograd – 2004. – 16 s.
22. Glukhov A.T. Razrabotka effektivnogo metoda zashchity pridorozhnoy mestnosti ot zagryazneniya protivogololednymi khimicheskimi veshchestvami: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / A.T. Glukhov – Penza – 2001. – 20 s.

23. Dmitrieva I.V. Organizatsionno-tehnicheskie i inzhenernye meropriyatiya dlya povysheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya na magistral'nykh ulitsakh goroda: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / I.V. Dmitrieva – Volgograd – 2011. – 17 s.
24. Zhilina O.M. Povyshenie rovnosti pokrytiy avtomobil'nykh dorog po usloviyu obespecheniya komforta, udobstva i bezopasnosti dvizheniya (s ispol'zovaniem teorii riska): avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / O.N. Zhilina – Volgograd – 2003. – 21 s.
25. Kozhin D.M. Proektirovanie vertikal'nykh krivyykh i shiriny pokrytiya gorodskikh dorog i ulits s ispol'zovaniem teorii riska: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / D.M. Kozhin – Volgograd – 2001. – 20 s.
26. Kokodeeva N.E. Otsenka kachestva sushchestvuyushchikh dorozhnykh odezhd nezhestkogo tipa s uchetom variatsii vlazhnosti grunta zemlyanogo polotna (s pozitsii teorii riska): dis. ... kand. tekhn. nauk. / N.E. Kokodeeva – Volgograd, 2001. – 148 s.
27. Kokodeeva N.E. Metodologicheskie osnovy kompleksnoy otsenki nadezhnosti avtomobil'nykh dorog v sisteme tekhnicheskogo regulirovaniya dorozhnogo khozyaystva: dis. ... dokt. tekhn. nauk / N.E. Kokodeeva – Sankt-Peterburg, 2012. – 340 s.
28. Levashin E.Yu. Uchet veroyatnostnoy sushchnosti vremeni raspada bitumnykh emul'siy pri stroitel'stve dorozhnykh odezhd nezhestkogo tipa (na osnove teorii riska): avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / E.Yu. Levashin – Volgograd – 2010. – 20 s.
29. Mokhnev V.A. Povyshenie bezopasnosti dvizheniya v proektakh remonta i rekonstruktsii avtomobil'nykh dorog (na osnove teorii riska): avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / V.A. Mokhnev – Volgograd, 2001. – 16 s.
30. Osipova T.V. Proektirovanie avtomobil'nykh dorog po usloviyu obespecheniya bezopasnosti dvizheniya avtomobiley na uchastkakh vozmozhnogo glissirovaniya (s ispol'zovaniem teorii riska): avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / T.V. Osipova – Volgograd – 2005. – 20 s.
31. Pankratova A.V. Teoriya riska v sovershenstvovanii metodov otsenki effektivnosti i obosnovaniya dliny uchastkov, zapreshchayushchikh obgon: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / A.V. Pankratova - Volgograd – 2006. – 16 s.
32. Pletmintsev S.A. Povyshenie bezopasnosti dvizheniya pri ekspluatatsii avtomobil'nykh dorog s pozitsii teorii riska: avtoref. dis. ...kand. tekhn. nauk / S.A. Pletmintsev – Volgograd – 2011. – 21 s.
33. Semenova N.S. Proektirovanie i ekspluatatsiya transportnykh razvyazok po usloviyu obespecheniya bezopasnosti dvizheniya na osnove teorii riska: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / N.S. Semenova – Volgograd, 2012. – 19 s.
34. Skryl'nikov I.G. Proektirovanie i ekspluatatsiya zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog v rayonakh rasprostraneniya mnogoletnemerzlykh gruntov (s ispol'zovaniem teorii riska): avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / I.G. Skryl'nikov – Volgograd, 2012. – 21 s.
35. Strokin A.A. Preduprezhdenie deformatsiy pri promerzanii dorozhnykh konstruktsiy s pozitsii teorii riska: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / A.A. Strokin – Volgograd – 2006. – 20 s.

36. Usova L.V. Povyshenie effektivnosti obosnovaniya perspektivnoy intensivnosti dvizheniya i tekhnicheskoy kategorii dorogi s ispol'zovaniem teorii riska: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / L.V. Usova – Volgograd – 2006. – 16 s.
37. Shmagina E.Yu. Teoriya riska v povyshenii nadezhnosti obosnovaniya raschetnykh raskhodov pri proektirovanii mostovykh perekhodov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / E.Yu. Shmagina – Volgograd – 2007. – 20 s.
38. Shchegoleva N.V. Risk poteri informatsii kak obobshchennaya kharakteristika voditelya pri proektirovanii i ekspluatatsii avtomobil'nykh dorog: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / N.V. Shchegoleva - Volgograd – 2006. – 24 s.
39. GOST R 54257-2010. Nadezhnost' stroitel'nykh konstruktsiy i osnovaniy. Osnovnye polozheniya i trebovaniya. – M.: IPK Izdatel'stvo standartov, 2010. – 20 s.
40. Alonso E.E. Risk analysis of slopes and its application to slopes in Canadian sensitive clays / E.E. Alonso // Geotechnique. – 1976. – №26 (3). P. 453–472.
41. Baecher G.B. Reliability and statistics in geotechnical engineering / G.B. Baecher and J.T. Christian. – John Wiley and Sons, Chichester. – New York, 2003.
42. Cornell C.A. A probability-based structural code / C.A. Cornell. – Journal of the American Concrete Institute. – 1969. – No66 (12). – Pp. 974-985.
43. Ditlevson O. Structural reliability and the invariance problem / O. Ditlevson. – Technical report 22. – Solid mechanics division. – University of Waterloo. – Canada, 1973.
44. Matsiy S.I. Protivoopolznevaya zashchita i upravlenie riskom: dis. ... d-ra. tekhn. nauk / S.I. Matsiy – Volgograd: VolgGASU, 2010. – 380 s.
45. Pleshakov D.V. Diagnostika opolznevnykh uchastkov avtomobil'nykh dorog na osnove metodiki optimal'nogo riska / D.V. Pleshakov, S.I. Matsiy // Vestnik VolgGASU. Ser.: Str-vo i arkhitekt. – 2008. – Vyp.10 (29). – S. 200–205.
46. GOST R 51 901.1-2002 Menedzhment riska. Upravlenie nadezhnost'yu. Analiz riska tekhnologicheskikh sistem: Izd. ofits. – Vveden 07.06.2002 – M.: Izd-vo standartov, 2002. – 22 s.