

Выявление и классификация дефектов строительных конструкций по установленным критериям эксплуатационного износа

С.Г.Шейна¹, В.Я.Мищенко², Ю.Д.Сергеев², А.Ю.Сергеева²,
Р.Ю.Мясищев²

¹ *Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону еж*
² *Воронежский государственный технический университет, Воронеж*

Аннотация: Проводя строительно-техническую экспертизу по обследованию строительных конструкций и выделяя несколько признаков, которые могут привести к их разрушению, можно выявить дефект, при котором наиболее вероятно произойдет разрушение и авария исследуемой конструкции. Предлагается использовать байесовский подход к оценке эффективности методов определения дефектов, влияющих на разрушение конструкции. Использование знаний по обследованию и испытанию строительных конструкций зданий и сооружений заключается в определении степени взаимосвязи между возможным разрушением строительной конструкции и ее обследованием на основе методов, разработанных в теории надежности технических систем. По результатам математического определения степени неисправности можно более объективно оценить эффективность используемого метода проверки состояния строительной конструкции. Рассмотрен способ использования строительно-технических знаний по определению технического состояния конструкций в аварийном состоянии применительно к употреблению формулы Байеса. По предлагаемой методике приведены примеры определения дефекта и степени разрушения строительных конструкций.

Ключевые слова: строительно-техническая экспертиза, дефекты, надежность, методики диагностики, износ, эффективность.

Строительно-техническая экспертиза - это установление специалистом (экспертом) прежде всего, причин аварий, разрушений строительных конструкций и объектов строительства, рассмотрение спорных вопросов, возникающих при возведении и эксплуатации зданий, а также выявление признаков, по которым можно определить, что состояние конструкций является аварийным [1-3]. Эксперт проводит обследование строительных конструкций зданий и сооружений и устанавливает их взаимосвязь с обеспечением эксплуатационной надежностью [4, 5]. При обследовании строительных конструкций, когда эксперт выделяет несколько признаков, приводящих к возможному разрушению исследуемой конструкции, можно

определить, при каком дефекте наиболее вероятно произойдет разрушение и авария [6, 7].

Использование знаний по обследованию и испытанию строительных конструкций зданий и сооружений заключается в определении степени скоррелированности между возможным разрушением строительной конструкции и ее обследованием на основе методов, разработанных в теории надежности технических систем [8-10]. Теория вероятностей и математическая статистика базируется на своей основе концепцию надежности [11]. Рассмотрим способ включения строительно-технических знаний по определению техсостояния конструкций в предаварийном состоянии применительно к употреблению формулы Байеса.

В работах [12-14] показан байесовский подход к определению степени неисправности строительной конструкции и ее разрушению, приводится сравнение вероятности разрушения каждой исследуемой строительной конструкции, используя классическую формулу Байеса:

$$d_i = \frac{\beta_\gamma \prod_j Q_{j\gamma}(a_{0j})}{\sum_\gamma \beta_\gamma \prod_j Q_{j\gamma}(a_{0j})} \quad (1)$$

Левая часть равенства – вероятность γ -го дефекта конструкции. В числителе:

β_γ – доля строительных конструкций с дефектом γ среди строительных конструкций, определяемых степенью разрушения;

$Q_{j\gamma}(a_{0j})$ – плотность ранжирования (или объективная возможность) того, что j -й идентификатор влияет на структуроразрушение конструкции функционалом (a_{0j}) вследствие γ -го дефекта. (Говорится о том, что уплотненность ранжирования вероятностей непрерывно рაციонированного

признака, оказывающего влияние на деструктуризацию конструкции, или допустимость признака, оказывающий действие на структуроразрушение конструкции, имеет преимущественно дискретные значения по примеру дискретного признака, оказывающего влияние на деструктуризацию конструкции). Говоря иными словами, в тех случаях, когда при обследовании строительной конструкции параметр j -го признака, оказывающий влияние на деструктуризацию конструкции, равен a_{0j} , то по ранжированию измеряется уплотненность распределения перманентного признака, оказывающего влияние на деструкцию конструкции (или вероятность влияния дискретного признака на разрушение конструкции) $Q_{j\gamma}$ который соответствует значению a_{0j} . \prod_j – произведение j -х идентификаторов от 1 до b . Дефекты, которые надо определить γ (от $1 = \gamma$ до $\gamma = n$) представлены суммой тождественных произведений и располагаются в знаменателе.

Положим, вероятность или плотность идентификаторов при обследовании первого признака дефекта намного выше плотности идентификаторов в сравнении со вторым признаком деструкции ($Q_{j1} > Q_{j2}$), в этой ситуации вполне понятно, что вышеозначенный признак в наибольшей мере показателен для дефекта под номером один. С привлечением уравнения (1) используя в качестве базиса соотношение вероятностей (плотностей) ранжирования в полном объеме идентификаторов, обобщенно вычисляется вероятность деструкции строительной конструкции. Используя уравнение Байеса для диагностики дефектов конструкции, в качестве трансцендентальной вероятности употребляется β_γ - релятивная частота (доля) строительных конструкций с дефектом γ среди всех исследуемых конструкций. Но возникает необходимость определиться с вопросом, стоит ли учитывать распространенность данного дефекта при диагностике

конкретной строительной конструкции? Допустим, что стройконструкция эксплуатируется на севере. Определяет степень разрушения эксперт, который имеет все нужные приборы для того, чтобы определить признаки, влияющие на разрушение стройконструкции, и компьютерную программу для определения степени неисправности. Каждая из отраслей народного хозяйства подвержена разного рода рискам. Строительная отрасль - не исключение. Диапазон риска соразмерно связан с обладанием той информации, которая необходима для градостроительства с учетом возможных неблагоприятных проявлений при строительном проектировании, возведении здания и эксплуатации. Основным недостатком градостроительного проектирования - это отсутствие в проектах комплексного анализа современного состояния использования земель, комплексной оценки состояния среды, разработки мероприятий по защите поселений от природных и техногенных воздействий и т.д.

При оценке инженерно-строительного риска нужно учитывать следующие факторы:

- *геологический* – качество геологической среды, т.е., толщи горных пород, используемой для строительства. Ее качество зависит от свойств грунтов-оснований, на которых возводятся сооружения, или массивов пород, где проводятся горные выработки для подземных сооружений;
- *технологический* – качество работ, осуществляемых при инженерной подготовке: водопонижения, замораживания, вибрационных уплотнений грунтов и прочих, в зависимости от которых проявляется воздействие на горный массив;
- *конструктивный* – физико-механические свойства материалов сооружений (прочность, деформативность, коррозионная стойкость и пр.).

Технологический и конструктивный факторы зависят от геологического, так как они в существенной мере связаны с динамикой

оснований и горных пород, то есть от качества геологической среды. Таким образом, геологический фактор определяет инженерно-строительный риск, поскольку в зависимости от изменений геологической среды проявляются воздействия на строительные объекты и свойства строительных конструкций. Если в условиях севера у конструкции оказались признаки, влияющие на разрушение, более свидетельствующие об определении степени разрушения, характерное для южных широт (например несоответствие типа грунта основания) чем у северных, представляется очевидным, что для корректного определения степени разрушения в расчетах должна использоваться относительная частота несоответствия типа грунта для южных широт, приняв эту частоту небольшой. Данный пример говорит о необходимости учитывать « β_{γ} ».

Конечным итогом байесовского диагностирования для каждого строительного элемента является вероятность его степени разрушения (уравнение 1). Сумма вероятностей равна единице. Вычисленные вероятности используются для определения степени разрушения.

Когда вероятность первого дефекта (1d) не меньше вероятности второго дефекта (2d), то определением степени разрушения может считаться 1-й дефект.

Проанализируем гипотетический прецедент (рис.1 пример 2): $d_1=50,5\%$, $d_2=49,5\%$. В данных условиях вероятности признаков деструктуризации практически неотличимы, и вынести однозначный вердикт невозможно. В случае (рис.1 пример 1): $d_1 = 95 \%$, $d_2 = 5 \%$, можно предоставить ответ более конкретизированный. Допустим, 90% - уровень надежности. В рассматриваемом примере 1 при определении степени разрушения получаем дефект 1. В примерах 2 и 3 определение степени разрушения конструкции неопределенно, и тест-программа не соглашается принимать решение в пользу дефекта номер один, испытывая нехватку в

данных. Данная парадигма трактования вероятности дает право часть некорректных оценок по определению дефектов переместить в плоскость неидентифицированных показаний. В то же время часть верного диагностирования (отражено в третьем примере) аналогично делается неидентифицированным.

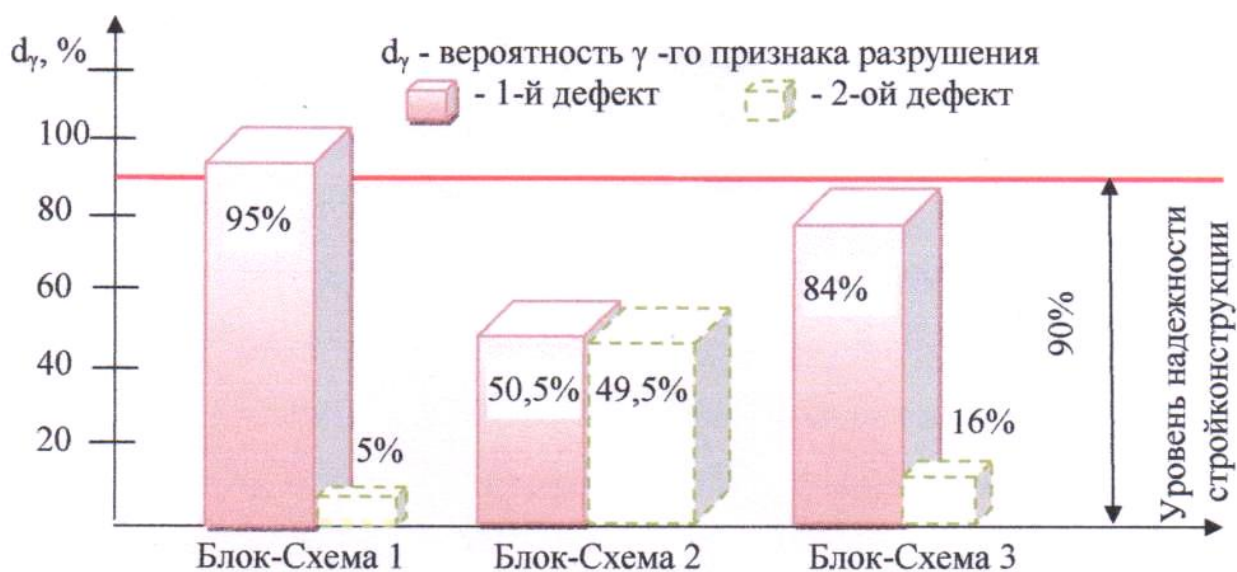


Рис. 1. – Обзор результатов диагностирования степени процесса разрушения трех строительных конструкций

Методика математического диагностирования разрушения стройконструкции отслеживается в банке данных групп G , в которых точно определены дефекты, приводящие к разрушению конструкций:

$$G = \{1, 2, 3, \dots, k, \dots, g\}.$$

В качестве критерия оценки эффективности при установлении степени разрушения строительной конструкции используется процент

правильных (верных) определений признаков (дефектов) влияющих на разрушение. Под верным определением дефектов понимается математически (компьютерно) поставленное определение степени разрушения, совпадающее с определением степени разрушения экспертом. В то же время, используя те же результаты математического определения оценки степени разрушения, допускается дать более объективную оценку эффективности применяемых методов проверки состояния строительных конструкций.

Допустим, в результате вычислений установлена вероятность разрушения m -й строительной конструкции из группы G :

$$d_{m\gamma} = 1, 2, 3, \dots, n,$$

где γ – номер определенного дефекта,

n – количество диагностированных разрушений.

Предполагается, что в каждой конструкции имеется только один дефект и что данный метод техобследования просчитывает вероятность фигурирования всех возможных дефектов в группе G строительных конструкций.

Допустим, группа G имеет конструкции с дефектом первого и второго типа ($n = 2$) $\gamma=1$ и $\gamma = 2$. Для m -й строительной конструкции калькулируется d_{m1} (диагностируется вероятность первого дефекта $d_{m\gamma=1}$), а также d_{m2} (диагностируется вероятность второго дефекта $d_{m\gamma=2}$); в других артикулах калькулируется градиент вероятности степени разрушения:

$$\bar{d}_m = (d_{m1}, d_{m2}) \sum_{\gamma} d_{m\gamma} = 1.$$

Единый подиндекс обозначает сложение по параметру:

$$\sum_{\gamma=1}^{\gamma=n} = \sum_j, \quad \sum_{m=1}^{m=n} = \sum_k.$$

Обозначим номер дефекта, которому подвержена конструкция - $\gamma_{tr}(m)$. Расчетное значение (вероятность) данного дефекта для конструкции m -й равно $d_{\gamma_{tr}(m)}$. Критерий эффективности - ЕС:

$$ЕС = \frac{1}{g} \sum_m d_{m\gamma_{tr}}, \quad (2)$$

где g – количество стройконструкций в группе G .

В качестве примера сравним эффективность методов $M1$ и $M2$. К стройконструкциям группы G применение данных методов обозначим $M(G)$. Говоря иными словами, $M(G)$ калькулирует для каждой стройконструкции в группе G вектор вероятности повреждений.

Допустим, G группа объединяет в себе две строительных конструкций $m=1$ и $m=2$, которые фактически подвергаются разрушению, имея дефект $\gamma = 1$, т.е. $\gamma_{tr} = 1$:

$$G = \{1, 2 | \gamma_{tr} = 1\}$$

Применяя первый метод $M1(G)$, т.е. к группе стройконструкций G , были получены следующие результаты:

для стройконструкции $m=1$: $d_{m\gamma} = d_{11} = 0,495$; $d_{m\gamma} = d_{12} = 0,505$;

для стройконструкции $m=2$: $d_{m\gamma} = d_{21} = 0,98$; $d_{m\gamma} = d_{22} = 0,02$.

Очевидно, что при определении расчетной степени разрушения учитываем дефект, вероятность степени разрушения которого не меньше, чем у других. Если таких дефектов несколько, то определение степени разрушения диагностируется случайным образом среди них.

В приведенных расчетах по методу М1 диагностирована степень разрушения $\gamma=2$ у стройконструкции 1 ввиду того, что расчетная вероятность второго признака разрушения больше, чем первого:

$$d_{12} = 0,505 > d_{11} = 0,495.$$

Это определение степени разрушения неверно, т.к. в действительности строительная конструкция подвержена дефекту 1: $\gamma_{tr}(1) = 1$.

У конструкции 2 вероятность 1 - ого признака разрушения выше, чем вероятность 2-го: $d_{21} = 0,98 > d_{22} = 0,02$, т.е. расчетом определяется 1-й признак разрушения. Это верно, т.к. принято $\gamma_{tr}(2) = 1$.

При обычном подходе эффективность определения степени разрушения 50%: у одной конструкции правильное определение степени разрушения, у второй не соответствует действительности. По формуле (2) вычислим критерий эффективности (ЕС):

$$EC(M_1) = \frac{1}{2} (0,495 + 0,98) = 0,73 \text{ или } 73\%.$$

Используя метод М2 (G) получаем :

для стройконструкции $m=1$: $d_{my} = d_{11} = 0,02$; $d_{my} = p_{12} = 0,98$;

для стройконструкции $m=2$: $d_{my} = d_{21} = 0,98$; $d_{my} = p_{22} = 0,02$.

Второй метод М2, аналогично с первым методом М1, ошибочно определил степень разрушения конструкции 1 и верно конструкции 2.

При общепринятом подходе степень эффективности диагностики 50% - идентичная М1. По формуле (2) вычисляем критерий эффективности (ЕС):

$$EC(M_2) = \frac{1}{2} (0,02 + 0,98) = 0,5 \text{ или } 50\%.$$

Вероятности рассматриваемых степеней разрушения стройконструкции отражены в процентах и собраны в таблицу № 1.

Таблица № 1

Вероятности степени разрушения

Вероятность разрушения, %				Критерий эффективности ЕС	Обычная оценка экспертизы	
m	строительная конструкция m =1		строительная конструкция m =2			
γ (дефект)	1	2	1	2		
Определение степени разрушения строительным экспертом (γ_{tr})	100* (γ_{tr})	0	100* (γ_{tr})	0	1	1
(M ₁) G	49,5 (γ_{tr})	50,5	98* (γ_{tr})	2	0,73	0,50
(M ₂) G	2 (γ_{tr})	98	98* (γ_{tr})	2	0,50	0,50

* - подчеркнута вероятность разрушения, считающаяся, что дефект диагностирован ($d > 50\%$);

артикул (γ_{tr}) - подсказывает, что стройконструкция реально подвергается данному дефекту.

Сравнение эффективности методов M1 и M2 показывает, что степень критерия эффективности второго метода ЕС (M2) значительно меньше, чем степень критерия эффективности первого ЕС (M1).

Можно объяснить, за счет чего это происходит.

Ни один из методов не позволяет безошибочно определить степень разрушения стройконструкции 1. В первом методе вероятность верного диагностирования дефекта составляет 49,5%. Это ошибочно, но стоит заметить, что до верного решения не хватает только 0,5%.

Второй метод М2 определил вероятность верного определения масштаба дефекта, а значит, и вероятность разрушения стройконструкции как 2%, что далеко от реальности. Говоря иными словами, метод М2 хуже, чем метод М1. Показатель оценки эффективности ЕС принимает в расчет расхождение в определении степени разрушения:

$$ЕС M(1) > ЕС M(2).$$

При традиционных подходах эта разница "незаметна".

Для законченности теханализа можно детализировать степень критерия эффективности ЕС. Поэтому, помимо общего критерия эффективности ЕС, можно рассчитать критерии эффективности ЕС для каждого идентифицируемого дефекта в отдельности. Проиллюстрируем это.

В примере, который был проанализирован, группа G объединяет в себе стройконструкции с дефектами одного-единственного вида, приводящими к разрушению. Однако в эту группу могут входить и стройконструкции с различными дефектами:

$$G \supset G_{\gamma}, \text{ где } \gamma = 1, 2, 3, \dots, n;$$

G_{γ} – подгруппа, состоящая из стройконструкций с одним типом дефекта.

$$G_{\gamma} = \{1, 2, 3, k, \dots, g_{\gamma}\}, \sum_{\gamma} G_{\gamma} = G, \sum_{\gamma} g_{\gamma} = g.$$

Для любой подгруппы допустимо рассчитать степень критерия эффективности $ЕС_{\gamma}$ - тот, что характеризует конструктивность метода в выявлении одного типа неисправности, приводящего к разрушению стройконструкции.

Тем же порядком приемлемо отчленить подгруппу с идентифицированной комплектацией симптомов и проанализировать критерий эффективности ЕС для нее. Из итоговой подгруппы можно вычленить тот сегмент, который относится к формату разрушения, и рассчитать критерии эффективности ЕС для этого сегмента.

Таким образом, компьютерная (математически обоснованная) деструктивная диагностика строительных конструкций является таким же инструментом для эксперта, проводящего строительно-техническую экспертизу, как и технические расчеты: расчетная диагностика не заменяет эксперту проведение технических расчетов, проведение обследования конструкций, но оказывает ему помощь. Поэтому важно совершенствовать методики диагностирования и сопоставлять их эффективность.

Литература

1. Шеина С.Г., Аль-Фатла А.Н.М., Понеделко А.Ф., Грабовская В.Н. Организационно-технологические подходы проведения экспертизы качества и объема выполненных строительных работ // Инженерный вестник Дона, 2022, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7444.
2. Зильберова И.Ю., Петров К.С., Рублевский В.А., Зоалкфл Д.А., Карпович А.С. Проблемы строительно-технической экспертизы при определении объемов и стоимости фактически качественно выполненных работ // Инженерный вестник Дона, 2021, №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2021/7240/.
3. Сергеев Ю.Д., Сергеева А.Ю., Мищенко В.Я, Мясичев Ю.В., Мясичев Р.Ю. Оптимизация процесса обследования несущих конструкций предаварийных зданий // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. 2019. Т. 16 №3. С. 52-56.

4. Гинзбург А.В. Организационно-технологическая надежность строительных систем // Вестник МГСУ. 2010. № 4-1. С. 251-255.
 5. Жавнеров П.Б., Гинзбург А.В. Повышение организационно-технологической надежности строительства за счет структурных мероприятий // Вестник МГСУ. 2013. №3. С. 196-200.
 6. Niamh M., Achkar L., Roberts A. "The people that no-one notices"? – The power of building control inspectors in sustainable construction. Conference: 32nd ARCOM Annual Conference 2016. Vol. 32. pp.1-10.
 7. Fore Stanley. An analysis of factors influencing the quality of housing construction projects in the Western Cape, South Africa. MATTER: International Journal of Science and Technology 1, 2017. pp. 240-258. DOI: 10.20319/mijst.2016.s11.240258.
 8. Зильберова И.Ю., Петров К.С., Пингин Е.Е. Современные требования к уровню знаний судебного строительно-технического эксперта // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5641/.
 9. Горбанева Е.П., Духанина В.В., Козак О.С. Понятия, виды и механизм осуществления строительно-технической экспертизы // Научно-практическая конференция "Современные тенденции строительства и эксплуатации объектов недвижимости". Воронеж: ВГТУ, 2017. С. 193-198.
 10. Емельянов Д.И., Мышовская Л.П., Казарцева А.И. Повышение эффективности управления строительным производством на основе применения комбинированных экспертно-модельных систем // ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. 2017. №11. С. 46-51.
 11. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных. М.: Финансы и статистика. Том 1, 1983. 471 с.
-

12. Тонков И.Л., Тонков Ю.Л. Актуальные проблемы оценки технического состояния строительных конструкций // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. Научно-технический журнал. 2017. № 3. С. 94–104. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.03.07.

13. Mishchenko V., Sergeev Yu., Sergeeva A., Myasishev Yu., Myasishev R. Investigation of the process organization of identifying an invalid test during construction expertise // In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development". Volume 1083. 2021. pp. 012054. DOI: 10.1088/1757-899X/1083/1/012054.

14. Соколов В.А. Многоуровневый вероятностный анализ технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений // XV научно-методическая конференция "Дефекты зданий и сооружений". СПб.: ВИТИ, 2011. С.54-63.

References

1. Sheina S.G., Al`-Fatla A.N.M., Ponedelko A.F., Grabovskaya V.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7444.

2. Zil`berova I.Yu., Petrov K.S., Rublevskij V.A., Zoalkfl D.A., Karpovich A.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №10. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n10y2021/7240/.

3. Sergeev Yu.D., Sergeeva A.Yu., Mishhenko V.Ya, Myasishhev Yu.V., Myasishhev R.Yu. FE`S: Finansy`. E`konomika. Strategiya. 2019. T. 16 №3. pp. 52-56.

4. Ginzburg A.V. Vestnik MGSU. 2010. № 4-1. pp. 251-255.



5. Zhavnerov P.B., Ginzburg A.V. Vestnik MGSU. 2013. №3. pp. 196-200.
 6. Niamh M., Achkar L., Roberts A. Conference: 32nd ARCOM Annual Conference 2016. Vol. 32. pp.1-10.
 7. Fore Stanley. International Journal of Science and Technology 1, 2017. pp. 240-258. DOI: 10.20319/mijst. 2016. S11.240258.
 8. Zil'berova I.Yu., Petrov K.S., Pingin E.E. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5641/.
 9. Gorbaneva E.P., Duxanina V.V., Kozak O.S. Nauchno-prakticheskaya konferenciya "Sovremennyye tendencii stroitel'stva i e`kspluatacii ob`ektov nedvizhimosti". Voronezh. 2017. pp. 193-198.
 10. Emel'yanov D.I., My`shovskaya L.P., Kazarceva A.I. FE`S: Finansy`. E`konomika. Strategiya. 2017. №11. pp. 46-51.
 11. Ajvazyan S.A., Enyukov I.S., Meshalkin L.D. Prikladnaya statistika. Osnovy` modelirovaniya i pervichnaya obrabotka danny`x [Applied statistics. Fundamentals of modeling and primary data processing]. M.: Finansy` i statistika. Tom 1, 1983. 471 p.
 12. Tonkov I.L., Tonkov Yu.L. Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politexnicheskogo universiteta. Prikladnaya e`kologiya. Urbanistika. Nauchno-texnicheskij zhurnal. 2017. № 3. pp. 94–104. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.03.07.
 13. Mishchenko V., Sergeev Yu., Sergeeva A., Myasishev Yu., Myasishev R. In the collection: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development". Volume 1083. 2021. pp. 012054. DOI: 10.1088/1757-899X/1083/1/012054.
 14. Sokolov V.A. XV nauchno-metodicheskaya konferenciya "Defekty` zdaniy i sooruzhenij". SPb., 2011. pp.54-63.
-



Дата поступления: 28.09.2023

Дата публикации: 29.01.2024