

УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА LIFE CYCLE MANAGEMENT OF CONSTRUCTION FACILITIES



УДК 721

Оригинальное эмпирическое исследование

<https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-4-96-106>

Критерий Пирсона для оценки количества информационных параметров в виртуальном паспорте



EDN: OWWGXL

Д.С. Кулаков , Д.В. Карелин 

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, г. Новосибирск,
Российская Федерация

✉ kulakov@reegigroup.com

Аннотация

Введение. Современный строительный рынок в России развивается стремительными темпами, особенно в части технологий, которые применяются для управления жизненным циклом зданий и сооружений. Повсеместно реализуются крупные национальные проекты, в том числе с применением технологии информационного моделирования, тем самым внедряя новые подходы и методы разработки информационных моделей. Информационный рост и темпы развития, несомненно, будут влиять и на качество реализуемых проектов, особенно в части параметризации и классификации исходных данных, что в свою очередь поспособствует появлению новых и пересмотру старых подходов при работе с информационными параметрами.

Использование технологии информационного моделирования в современном проектировании невозможно без пересмотра подходов к анализу первичных данных и результатов работ на протяжении всего жизненного цикла объекта капитального строительства. В связи с этим возникает прямая необходимость в обработке большого количества информации, особенно на начальных этапах разработки проекта.

Цель работы — экспериментальным путем выявить зависимости в информационных параметрах и определить распределение случайной величины с использованием критерия Пирсона. Технологии развиваются повсеместно, и строительная отрасль внедряет в свою структуру новые подходы и методы проектирования, а в связи с тем, что Постановление Правительства Российской Федерации от 15 сентября 2020 г. № 1431 прямо указывает на необходимость использования программных комплексов для трехмерного проектирования, возникает потребность в нормативном регулировании не только трехмерных моделей, но и информационных параметров, содержащихся в данных моделях.

Материалы и методы. В данном исследовании представлены теоретические и практические результаты, применения критерия Пирсона для оценки количества информационных параметров, полученных в ходе выполнения проекта, реализованного по технологии информационного моделирования для объекта «Павильон № 34 «Космос», расположенного в г. Москва на ВДНХ, для последующего использования в виртуальном паспорте.

Результаты исследования. При проведении математических расчетов обобщенных данных, полученных в ходе выполнения исследования, авторы подтверждают гипотезу о равномерном распределении случайной величины, что дает возможность прогнозирования будущих результатов и их интеграции на будущие объекты капитального строительства, выполненные по технологии информационного моделирования, для максимизации эффекта использования данной технологии в будущем.

Обсуждения и заключения. Полученные значения позволяют сделать вывод о том, что функция распределения случайной величины в виде равномерного распределения может быть использована для аппроксимации исследуемого эмпирического распределения. По результатам расчетов авторы выдвигают предположение о том, что для определения оценки количества информационных параметров в виртуальном паспорте в полной мере может подходить равномерный закон распределения.

Ключевые слова: виртуальный паспорт здания, информационное моделирование зданий, паспортизация, среда общих данных, жизненный цикл здания, искусственный интеллект.

Для цитирования. Кулаков Д.С., Карелин Д.В. Критерий Пирсона для оценки количества информационных параметров в виртуальном паспорте. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2024;3(4):96–106. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-4-96-106>

Original Empirical Research

Pearson Criterion for Assessing the Number of Information Parameters for a Digital Passport

Dmitry S. Kulakov , Dmitry V. Karelin 

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk, Russian Federation

 kulakov@reegigroup.com

Abstract

Introduction. The present-day construction market in Russia is rapidly developing, especially the life cycle managing technologies of buildings and structures. Building information modeling technologies are used in the large-scale national projects throughout the country, which fosters implementation of the new approaches and methods to developing the information models. Information growth and development rates undoubtedly affect the quality of the implemented projects, especially in terms of parameterization and classification of the original data, which in turn contributes to the emergence of the new and revision of the old approaches to handling the information parameters. The use of building information modeling in modern design requires revision of the approaches to the analysis of the original data and the results of work throughout a life cycle of a capital construction facility. This directly induces a need to process a large amount of information, especially at the initial stages of project development. The aim of the present research is to identify dependencies among the information parameters, and determine the distribution of a random variable using the Pearson criterion. The technologies are developing worldwide fostering implementation of the new approaches and design methods in the construction industry. Furthermore, due to the Russian Federation Government Regulation No. 1431 of September 15, 2020, which directly binds to use the software packages for three-dimensional design, there arises a need to have the normative regulation not only for the three-dimensional models, but also for the information parameters underlying these models.

Materials and Methods. The research presents the theoretical and practical results obtained during implementation of a BIM-based project of a facility located at VDNKh in Moscow (the Pavilion No. 34 “Kosmos” (Space)) on using the Pearson criterion for assessing the number of information parameters for subsequent use in a digital passport.

Results. The mathematical calculations of the generalised data obtained within the research allow the authors to confirm the hypothesis of the uniform distribution of a random variable, which makes it possible to predict the future results and integrate them into the future objects of capital construction planned to be built with the use of building information modeling for maximizing efficiency of this technology in the future.

Discussion and Conclusion. The obtained values allow us to conclude that the distribution function of a random variable in uniform distribution can be used to approximate the empirical distribution under study. The calculation results allow the authors to make an assumption about full appropriateness of the uniform distribution law application for assessing the number of information parameters required for a digital passport.

Keywords: digital building passport, building information modeling, introducing a passport system, common data environment, building life cycle, artificial intelligence

For Citation. Kulakov DS, Karelin DV. Pearson Criterion for Assessing the Number of Information Parameters for a Digital Passport. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2024;3(4):96–106. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2024-3-4-96-106>

Введение. В процессе развития технологий и совершенствования подходов и методов проектирования в строительной отрасли наблюдаются перемены, связанные со сдвигом устоявшейся парадигмы. В результате анализа работ [1–4] прослеживается взаимосвязь физических и информационных моделей, которые разрабатываются посредством информационного моделирования для снижения негативных действий в виде передачи проектной ошибки на строительную площадку, минимизации затрат на выполнение работ и, соответственно, снижения проста, который приносит прямые убытки.

Объединяя информационные объекты в группы и укрупненные массивы, возможна ситуация с возникновением геоинформационных систем целых городов [5], что в полной мере позволяет создавать сферу цифровых

городов с интеграцией в нее цифровых двойников объектов капитального строительства, насыщенных параметрическими данными, системами и архивами различной документации, которая нарастает вследствие прохождения объектом его жизненного цикла. Следовательно, исходя из работ [6, 7], может существовать такой объект, как виртуальный паспорт объекта капитального строительства, который смог бы объединить внутри себя все информационные данные, увязать технологию информационного моделирования с координацией проектных решений, а также использовать полученные данные на различных жизненных стадиях. В связи с этим возникает необходимость в нормировании структуры самого виртуального паспорта и данных, входящих в него, так как на данный момент времени отсутствует даже само понятие виртуального паспорта объекта капитального строительства.

Нормирование является одним из важных факторов, влияющих на строительную индустрию в целом, которая представляет собой крупнейшую отрасль народного хозяйства, повседневно решающую множество задач не только социального, но и государственного характера. Процессы строительства, несомненно, связаны с технологиями и являются комплексными и многосоставными по причине большого количества требований и правил, которым должны соответствовать технологическое качество строительных процессов [8].

Материалы и методы. Общеизвестно, что при определении, когда факторы, влияющие на состояние системы, имеют случайную природу и неполную или недостаточную определенность в информационном плане, возможно применение стохастического подхода, что дает возможность использовать аппарат математической статистики. На текущий момент времени на строительном рынке все больше появляется проектов, выполненных по технологии информационного моделирования (ТИМ). И это касается не только нового строительства, но и используется при реконструкции, модернизации и выводе из эксплуатации объектов [9, 10]. В данном исследовании рассматриваются теоретические и практические результаты, полученные в ходе выполнения проекта, реализованного по технологии информационного моделирования для объекта «Павильон № 34 «Космос», расположенного в г. Москва на ВДНХ (рис. 1). Аббревиатура ТИМ — это отечественный аналог BIM—технологии, которая в полной мере используется и применяется на зарубежном рынке в строительной индустрии [11].

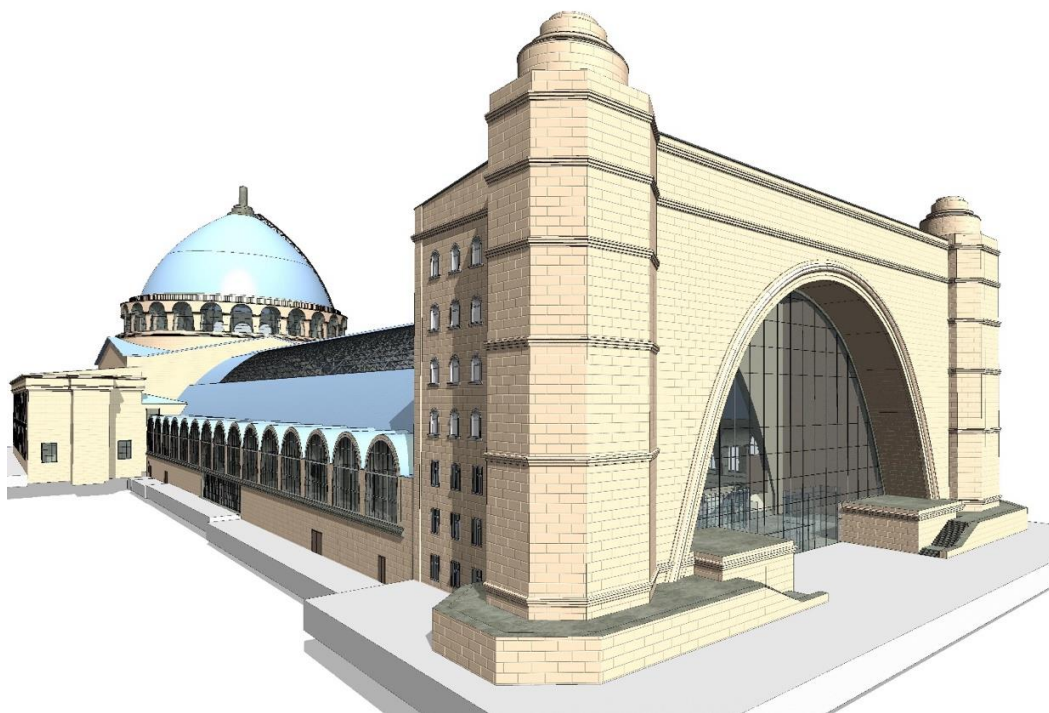


Рис. 1. Информационная модель павильона № 34 «Космос», г. Москва, ВДНХ

Работы по сохранению архитектурного облика здания, обновлению экспонатов выставок и инженерному переоснащению систем рассматриваемого объекта проводились в связи с тем, что информационная трансформация объектов капитального строительства постепенно внедрялась в календарный график планирования работ, выполненных с применением технологии ТИМ [8]. В процессе исследования был получен массив данных, которые в свою очередь были сгруппированы в табличной форме с применением функций описательной статистики (таблица 1). Работа по реконструкции «Павильона № 34 «Космос» представляла собой непрерывный комплекс работ и мероприятий по изменению и обновлению проектных решений с целью улучшения условий работ и качества потребляемых услуг. Особенности свойства: высокая эффективность использования территории, замкнутый периметр, универсальность, система внутренних и внешних связей — дают право рассматривать данный проект в

качестве отдельного объекта реконструкции. Обобщенные параметры реконструкции, собранные в таблице 1, учитывали:

- улучшение состояния здания;
- улучшение эстетических качеств застройки;
- развитие транспортных связей;
- модернизацию систем культурно-бытового обслуживания;
- увеличение плотности застройки;
- решение вопросов энергосбережения.

Для того, чтобы провести анализ применимости закона *хи-квадрат Пирсона*, потребовалось проанализировать вариационный ряд, полученный из исходной выборки данных, полученных в результате выполнения проекта с использованием ТИМ. Анализ был выполнен средствами MS Excel.

Таблица 1

Описательная статистика по выборочной совокупности

N	1000
min	81
max	449
a	270,93
s	106,68

Примечание: N — объем выборки; min — минимальное значение; max — максимальное значение; a — среднее арифметическое; s — стандартное отклонение.

В продолжении эксперимента необходимо определить частоты и построить гистограмму распределения случайной величины. В связи с тем, что объем выборки N содержит в себе большое количество значений, которые были получены в рамках работы по реконструкции [12, 13], для определения количества интервалов используем формулу Стёрджесса:

$$n = 1 + \log_2 N,$$

где N — объем выборки.

В результате вычислений $n = 10$.

Определим ширину каждого интервала:

$$\Delta = \frac{x_{max} - x_{min}}{n},$$

где x_{max} — максимальное значение; x_{min} — минимальное значение; n — количество интервалов.

$$\Delta = 36,8$$

Далее необходимо построить интервалы (таблица 2) и гистограмму распределения, на которой будут изображены вероятности распределения параметров с заданной интенсивностью (рис. 2).

Таблица 2

Результаты вычислений интервалов

j	от	до	n_j
1	81,0	117,8	104
2	117,8	154,6	99
3	154,6	191,4	79
4	191,4	228,2	75
5	228,2	265,0	101
6	265,0	301,8	98
7	301,8	338,6	121
8	338,6	375,4	115
9	375,4	412,2	110
10	412,2	449,0	98

0

Σ 1000

Примечание: j — интервалы; n_j — определяющие частоты.

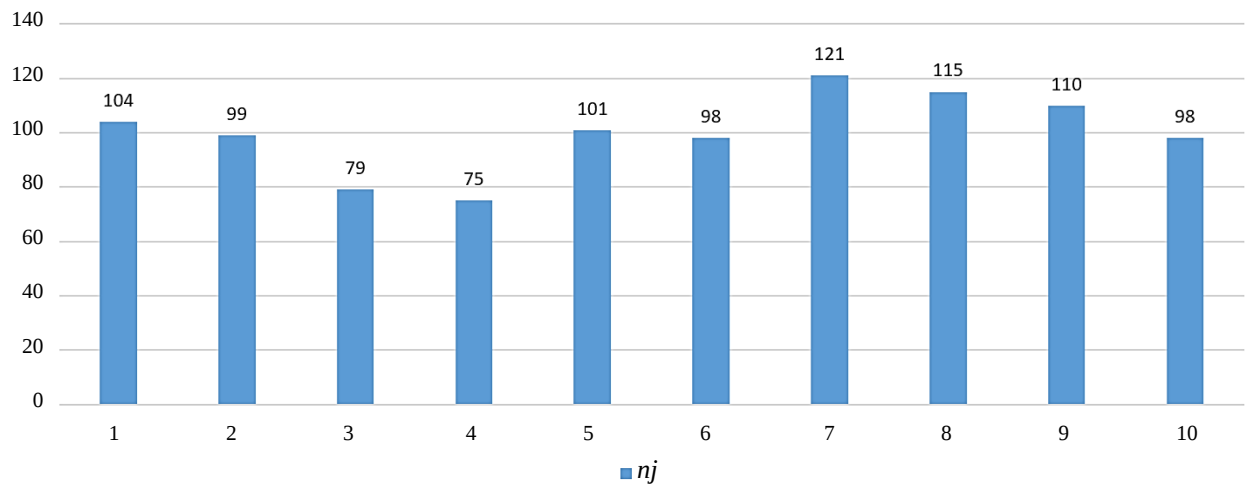


Рис. 2. Экспериментальная вероятность распределения параметров с заданной интенсивностью

Из (рис. 2) делаем описательный вывод о том, что значения сконцентрированы волнообразным типом, и для определения закона о распределении случайной величины необходимо выдвинуть гипотезы:

1. Случайная величина имеет равномерное распределение (рис. 3).

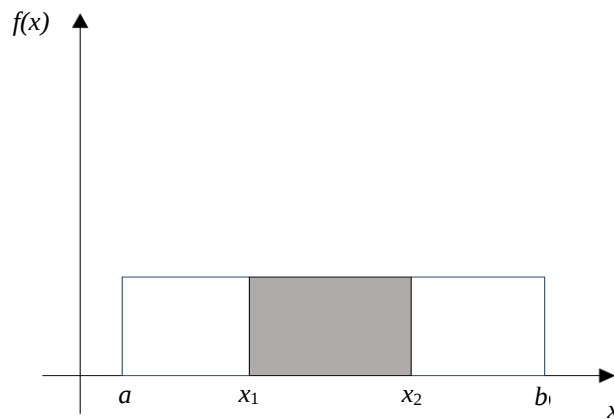


Рис. 3. График равномерного распределения случайной величины

$$f(x) = \frac{1}{b-a}$$

$$P(x_1 \leq x \leq x_2) = \frac{x_2 - x_1}{b - a},$$

где a, b — концы интервалов; x_1, x_2 — диапазон значений вероятности; P — вероятность попадания.

2. Случайная величина имеет нормальное распределение (рис. 4).

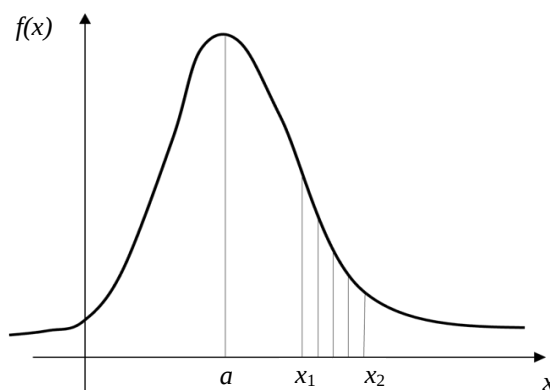


Рис. 4. График нормального распределения случайной величины

$$f(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(\frac{-(x-a)^2}{2s^2}\right)$$

$$P(x_1 \leq x \leq x_2) = \Phi\left(\frac{x_2 - a}{s}\right) - \Phi\left(\frac{x_1 - a}{s}\right),$$

где a — среднее значение (пик распределения); S — стандартное отклонение; x_1, x_2 — диапазон значений вероятности; Φ — функция Лапласа; P — вероятность попадания.

В этом случае для того, чтобы окончательно выбрать функцию распределения, необходимо ввести нулевую гипотезу, согласно которой статистический ряд, который лежит в основе эмпирического распределения, представляет собой случайную выборку. При этом в качестве исходного материала для создания совокупности данных используется массив вероятностей, который имеет определенный закон распределения. При таких условиях исследование сводится к нахождению уровня допустимости расхождения эмпирического и теоретического распределения (таблица 3), который в свою очередь установит соответствие между распределением и его допустимостью. В данной работе для определения возможной степени расхождения используется критерий Пирсона:

$$\chi^2 = \sum_j \frac{(n_j - n_{\tau j})^2}{n_{\tau j}},$$

где n_j — частоты; $n_{\tau j}$ — теоретические частоты.

Таблица 3

Результаты вычислений частот

j	от	до	n_j
1	81,0	117,8	104
2	117,8	154,6	99
3	154,6	191,4	79
4	191,4	228,2	75
5	228,2	265,0	101
6	265,0	301,8	98
7	301,8	338,6	121
8	338,6	375,4	115
9	375,4	412,2	110
10	412,2	449,0	98

Примечание: n_j — частоты; $n_{\tau j}$ — теоретические частоты.

Для проверки гипотезы о равномерном распределении случайной величины сведем расчетные данные в таблицу 4.

Таблица 4

Результаты вычислений частот для проверки гипотезы о равномерном распределении

j	от	до	n_j	p_j	$n_{\tau j}$	χ^2
1	81,0	117,8	104	0,100	100	0,16
2	117,8	154,6	99	0,100	100	0,01
3	154,6	191,4	79	0,100	100	4,41
4	191,4	228,2	75	0,100	100	6,25
5	228,2	265,0	101	0,100	100	0,01
6	265,0	301,8	98	0,100	100	0,04
7	301,8	338,6	121	0,100	100	4,41
8	338,6	375,4	115	0,100	100	2,25
9	375,4	412,2	110	0,100	100	1,00
10	412,2	449,0	98	0,100	100	0,04
Σ				1,000	1000	19

Для проверки гипотезы о нормальном распределении случайной величины сведем расчетные данные в таблицу 5.

Таблица 5

Результаты вычислений частот для проверки гипотезы о нормальном распределении

j	от	до	n_j	p_j	n_{tj}	хи2
1	81,0	117,8	104	0,076	75,5814	10,6854
2	117,8	154,6	99	0,062	62,1693	21,8195
3	154,6	191,4	79	0,090	90,2264	1,39684
4	191,4	228,2	75	0,116	116,391	14,7197
5	228,2	265,0	101	0,133	133,456	7,89321
6	265,0	301,8	98	0,136	136,015	10,625
7	301,8	338,6	121	0,123	123,217	0,03987
8	338,6	375,4	115	0,099	99,2159	2,51105
9	375,4	412,2	110	0,071	71,0107	21,4076
10	412,2	449,0	98	0,093	92,7171	0,30101
Σ			1,000	1000	91	

Сведем данные, полученные из таблицы 4 и таблицы 5, в график распределения параметров с интенсивностью (рис. 5).

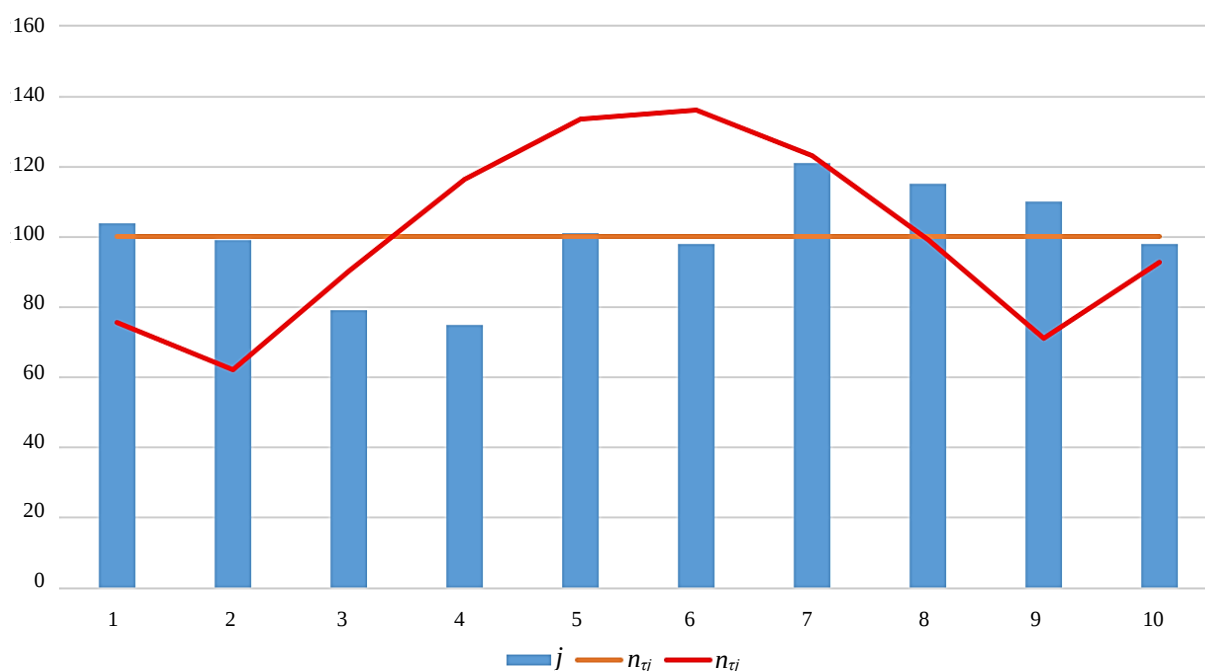


Рис. 5. Экспериментальная вероятность распределения параметров с заданной интенсивностью по результатам расчетов

Для продолжения экспериментальной части и подтверждения экспериментальных выводов необходимо ввести понятие нулевой гипотезы. Нулевая гипотеза — это незначительное различие между теоретическими и наблюдаемыми частотами. Задача сводится к тому, что необходимо либо принять данное суждение, либо его опровергнуть. Для этого потребуется сравнить χ^2 с неким пороговым критическим значением « χ^2 крит».

Для расчета критерия Пирсона сведем общие таблицы средствами MS Excel.

Таблица 6

Проверка гипотезы о равномерном распределении

степ. свобод.	9
хи2 крит.	3,325113
p -value	0,0290106

Таблица 7

Проверка гипотезы о нормальном распределении

степ. свобод.	9
хи ² крит.	3,3251128
<i>p-value</i>	8,526E-16

Примечание: *p-value* — вероятность того, что мы примем нулевую гипотезу, а она на самом деле неверна.

Результаты исследования. По результатам сравнения данных из таблицы 4 и таблицы 6 получаем, что $19 > 3,325113$, тем самым можем принять нулевую гипотезу. По результатам сравнения данных из таблицы 5 и таблицы 7 получаем, что $91 > 3,325113$, тем самым также принимаем нулевую гипотезу. Данное сравнение входит в первый вариант численного анализа полученных данных. Второй вариант анализа сводится к нахождению *p-value*, представленного в таблице 6 и таблице 7.

Таким образом (таблица 6), для равномерного распределения делаем вывод о том, что необходимо принять нулевую гипотезу, и при значении *p-value* = 0,0290106 частоты экспериментальные и теоретические лучше между собой согласовываются.

По данным таблицы 7 (о нормальном распределении) делаем вывод о том, что необходимо отвергнуть нулевую гипотезу, и при значении *p-value* = 8,526E-16 частоты экспериментальные и теоретические между собой не согласовываются.

Вывод о том, что функция распределения случайной величины в виде равномерного распределения случайных величин имеет место быть, можно сделать из полученных значений и использовать для проверки эмпирического распределения. Данные, полученные в результате расчетов, позволили авторам сделать предположение о том, что для определения оценки количества информационных параметров в виртуальном паспорте может использоваться равномерный закон распределения, который также подтверждает выводы, которые были сформулированы в [14].

Обсуждение и заключение. На основании проделанных вычислений, связанных со статистическим анализом информационных параметров, авторы исследования могут сделать следующие выводы:

1. В связи с тем, что на данный момент времени актуальность создания параметрических информационных моделей с каждым днем увеличивается, появляется необходимость в том, чтобы разработка и комплектование информационных моделей представляли из себя прозрачные и понятные процессы [15]. Для этого на ранних этапах сбора информации для создания информационного проекта можно вводить равномерный закон распределения для выявления оптимального количества информационных параметров для обособленного этапа жизненного цикла объекта капитального строительства.

2. Доказано, что при применении различных средств автоматизированного проектирования для выполнения работ по новому строительству, а в особенности при реконструкции объектов капитального строительства, существует возможность виртуальной симуляции процессов для определения оптимальных временных промежутков выполнения работ [16]. Для осуществления данного подхода авторы исследования предлагают использовать закон равномерного распределения информационных параметров, который способен оптимизировать расход бюджетных средств и иных ресурсов в информационных моделях в виде математического анализа исходных данных.

3. Актуальность проектных данных на строительной площадке все больше сказывается на конечном результате, информация со временем не оцифровывается и не упорядочивается, что приводит к низкому качеству работ [17], переносу (а иногда и срыву) сроков строительства [18]. Информационная параметризация в виде виртуального паспорта со временем будет содержать в себе огромный массив данных, и для его обработки могут быть использованы данные текущего исследования.

4. Использование закона равномерного распределения напрямую будет влиять на определение количества информационных параметров в виртуальном паспорте, что позволит минимизировать ошибку и сократить время первичного анализа данных [19].

Список литературы / References

1. Nagarjuna Y. Analysis of lean construction by using last planner system. URL: https://www.academia.edu/8753126/Analysis_of_Lean_Construction_by_Using_Last_Planner_System_AnalysisofLeanConstruction-byUsingLastPlannerSystem_CONTENTS (accessed: 05.08.2024).
2. Mowade K, Shelar K. Lean Construction. *International Journal of Scientific Engineering and Science*. 2017;1(11):70–74. URL: https://www.academia.edu/100484952/Lean_Construction (accessed: 05.08.2024).

3. Shirgar NAH, Yadav NB. Overview of Lean Concept in Construction Industry. *GRD Journals*. 2019;11–14. URL: https://www.grdjournals.com/article?paper_id=GRDCF012003 (accessed: 05.08.2024).
4. Грибкова И.С., Попова О.С. Муниципальные геоинформационные системы: проблемы и пути решения. *Научные труды КубГТУ*. 2016;11:143–154. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27677209> (дата обращения: 05.08.2024).
- Gribkova IS, Popova OS. Municipal Geographical Information Systems: Problems and Solutions. *Scientific Works of the Kuban State Technological University*. 2016;11:143–154. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27677209> (accessed: 05.08.2024).
5. Смилка В.А. Применение геоинформационных технологий при проведении градостроительного мониторинга. В: *Материалы III Международной научно-технической интернет-конференции «Информационные технологии в образовании, науке и производстве»*. Минск: БНТУ; 2015. 6 с. URL: <http://rep.bntu.by/handle/data/21915> (дата обращения: 05.08.2024).
- Smilka VA. Application of Geoinformation Technologies in Urban Planning Monitoring. In: *Proceedings of the III International Scientific and Technical Internet Conference “Information Technologies in Education, Science and Production”*. Minsk: BNTU; 2015. 6 p. (In Russ.) URL: <http://rep.bntu.by/handle/data/21915> (accessed: 05.08.2024).
6. Кулаков Д.С., Карелин Д.В. Нормирование информационных параметров виртуального паспорта для цифровой модели здания. *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2024;26(1)41–55. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2024-26-1-41-55>
- Kulakov DS, Karelin DV. Normalization of Information Parameters of Digital Passport for Digital Building Model. *Journal of Construction and Architecture*. 2024;26(1)41–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2024-26-1-41-55>
7. Гусакова Е.А., Овчинников А.Н. Перспективы моделирования жизненного цикла объекта капитального строительства информационными потоками. *Вестник МГСУ*. 2020;15(8):1191–1200. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.8.1191-1200>
- Gusakova EA, Ovchinnikov AN. Prospects for the Life Cycle Modeling of a Capital Construction Facility Using Information Flows. *Bulletin of MGSU*. 2020;15(8):1191–1200. (In Russ.) <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2020.8.1191-1200>
8. Звонов И.А., Нарежная Т.К., Корнилова Д.Л. Принципы применения адаптируемых модульных проектов на базе информационного моделирования в рамках модернизации зданий образовательных учреждений. В: *Материалы II Междунар. науч.-практ. конф. «BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры»*. СПб.: СПбГАСУ; 2019. <https://doi.org/10.23968/BIMAC.2019.013>
- Zvonov IA, Narezhnaya TK, Kornilova DL. Principles of Application of Adaptable Modular Projects Based on Information Modeling within the Framework of Modernization of Buildings of Educational Institutions. In: *Proceedings of the II International Scientific and Practical Conferences “BIM-Modeling in Construction and Architecture Problems”*. Saint Petersburg: SPbGASU; 2019. (In Russ.) <https://doi.org/10.23968/BIMAC.2019.013>
9. Шарипов Р.Х. *ТРИЗ нужна России: проблемы технического творчества*. Чебоксары: Новое время; 2018. 412 с.
- Sharipov RK. *TIPS is Needed in Russia: Problems of Technical Creativity*. Cheboksary: Novoe vremya; 2018. 412 p. (In Russ.)
10. Григорьев С.Н., Смуров И.Ю. Перспективы развития аддитивного производства в России и за рубежом. *Инновации*. 2013;(10(180)):76–82. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22259181> (дата обращения: 05.08.2024).
- Grigoriev SN, Smurov IYu. Prospects for the Development of Innovative Additive Manufacturing in Russia and Abroad. *Innovations*. 2013;(10(180)):76–82. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22259181> (accessed: 05.08.2024).
11. Асланов Н.М., Садиг Р.И. Основные методы оценки эффективности инвестиционных проектов. *Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом*. 2011;3:39–46.
- Aslanov NM, Sadig RI. Main Methods of Assessing the Efficiency of Investment Projects. *Problems of Economics and Management of the Oil and Gas Complex*. 2011;3:39–46. (In Russ.)
12. Морозенко А.А. Современные подходы к оценке надежности предприятий, участвующих в реализации инвестиционно-строительных проектов. *Научное обозрение*. 2017;12:123–128.
- Morozenko AA. Modern Approaches to Assessing the Reliability of Enterprises Participating in the Implementation of Investment and Construction Projects. *Scientific Review*. 2017;12:123–128. (In Russ.)
13. Орехова С.В., Мисюра А.В. Трансформация бизнес-модели и возрастающая отдача высокотехнологичного предприятия. *Вестник Челябинского государственного университета*. 2020;(6(440)):75–85. <https://doi.org/10.47475/1994-2796-2020-10609>

Orekhova SV, Misyura AV. Business Model's Transformation And Increasing Resultsof A High-tech Company. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta (Bulletin of Chelyabinsk State University)*. 2020;(6(440));75–85. <https://doi.org/10.47475/1994-2796-2020-10609>

14. Лемешко Б.Ю., Блинов П.Ю. *Критерии проверки отклонения распределения от равномерного закона*. Новосибирск: НГТУ; 2015. 182 с.

Lemeshko BYu, Blinov PYu. *Criteria for Testing the Deviation of Distribution From the Uniform Law*. Novosibirsk: NSTU; 2015. 182 p. (In Russ.)

15. Грязнова Н.В., Сайтибрагимов А.Э. Цифровая параметрическая градостроительная документация. *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2021;11(2(37)):330–341. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-2-330-341>

Griaznova NV, Saytibragimov AE. Digital Parametric Urban Planning Documentation. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost. Bulletin of the Higher Education Institutions. Investments. Construction. Real Estate*. 2021;11(2(37)):330–341. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-2-330-341>

16. Пешков В.В., Алексанин И.А. Разработка организационно-технических решений на этапе капитального ремонта жизненного цикла объекта строительства с использованием возможностей его цифровой модели. *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2022;12(2):196–205. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-196-205>

Peshkov VV, Aleksanin IA. Management and Engineering Solutions at the Overhaul Stage in the Life Cycle of Constructing Facilities Using Their Digital Models. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitelstvo. Nedvizhimost. Bulletin of the Higher Education Institutions. Investments. Construction. Real Estate*. 2022;12(2):196–205. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-2-196-205>

17. Горячев М.Г., Лугов С.В., Калёнова Е.В. Анализ некоторых параметров зависимости для определения требуемой прочности нежестких дорожных одежд при обосновании конструктивного решения по их усилению. *Автомобиль. Дорога. Инфраструктура*. 2020;2(24):4. URL: <https://www.adi-madi.ru/madi/article/view/907/688> (дата обращения: 05.12.2024).

Goryachev MG, Lugov SV., Kalenova EV. Analysis of Some Dependence Parameters for Determining the Required Strength of Flexible Pavements when Justifying the Constructive Decision to Strengthening Them. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura. (Automobile. Road. Infrastructure)*. 2020;2(24). (In Russ.) URL: <https://www.adi-madi.ru/madi/article/view/907/688> (accessed: 05.12.2024).

18. Страхов А.С., Исупова Д.А., Трегубов А.П. Специфика государственного регулирования внедрения ТИМ-технологий в строительстве. В: *Материалы XXVI региональной конференции молодых ученых и исследователей Волгоградской области*. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет; 2022. С. 305–306. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48331348> (дата обращения: 05.12.2024).

Strakhov AS, Isupova DA, Tregubov AP. Specifics of State Regulation of the Implementation of BIM Technologies in Construction. In: *Proceedings of the XXVI Regional Conference of Young Scientists and Researchers of the Volgograd Region*. Volgograd: Volgograd State Technical University; 2022. P. 305–306. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48331348> (accessed: 05.08.2024).

19. Кулаков Д.С., Мордвов А.А., Карелин Д.В. Виртуальный паспорт объектов строительства — предвестник четвертой промышленной революции в строительстве. В: *Сб. трудов 29-й регион. науч. студ. конф. «Интеллектуальный потенциал Сибири»*. Новосибирск: НГТУ; 2021. С. 197–199.

Kulakov DS, Mordvov AA, Karelin DV. Digital Passport of the Construction Objects — A Predecessor of the Fourth Industrial Revolution in Construction. In: *Proceedings of the 29th Regional Scientific Student Conference “Intellectual Potential of Siberia”*. Novosibirsk: NSTU; 2021. P. 197–199. (In Russ.)

Об авторах:

Дмитрий Сергеевич Кулаков, аспирант Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (630008, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113), [ORCID](https://orcid.org/0000-0001-9148-3448), kulakov@reegigroup.com

Карелин Дмитрий Викторович, заведующий кафедрой градостроительства и городского хозяйства Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (630008, Российская Федерация, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113), кандидат архитектуры, [ORCID](https://orcid.org/0000-0001-9148-3448), d.karelin@sibstrin.ru

Заявленный вклад авторов:

Д.В. Карелин: научное руководство, концепция исследования, развитие методологии;

Д.С. Кулаков: автор исследования, написание исходного текста, итоговые выводы.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Dmitry S. Kulakov, Postgraduate Student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (113, Leningradskaya Str., Novosibirsk, 630008, Russian Federation), [ORCID](#), kulakov@reegigroup.com

Dmitry V. Karelin, Cand.Sci. (Architecture), Head of the Urban Planning and Urban Utilities Department, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (113, Leningradskaya Str., Novosibirsk, 630008, Russian Federation), PhD in Architecture, [ORCID](#), d.karelin@sibstrin.ru

Claimed Contributorship:

Dmitry V. Karelin: scientific supervision, research concept, development of methodology.

Dmitry S. Kulakov: authorship of the research, writing the original text, final conclusions.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию/ Received 09.09.2024

Поступила после рецензирования/ Revised 20.10.2024

Принята к публикации/ Accepted 29.10.2024