

УДК 692.232

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ СЕКЦИОННОГО ОБЛИЦОВОЧНОГО СЛОЯ НАРУЖНЫХ СТЕНОВЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПУАССОНА

Шуршилин<sup>1</sup> Е. А., Олехнович<sup>2</sup> Я. А.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет»,  
г. Санкт-Петербург, Политехническая улица, 29,  
E-mail: <sup>1</sup> shurshilin.ea@edu.spbstu.ru, <sup>2</sup>olehnovich.yaa@spbstu.ru

**Актуальность исследования.** Вопросы надежности строительных конструкций являются ключевыми при реализации строительных проектов. В большинстве случаев исследователи рассматривают и изучают надежность конструкций несущих элементов зданий и сооружений, напрямую влияющих на жесткость, прочность и устойчивость зданий и сооружений при исследовании вопросов сроков эксплуатации того или иного сооружения. Тем не менее, помимо вопросов безопасности зданий и сооружений актуальным стало и повышение энергоэффективности объектов строительства в том числе путём применения новых технологий, методик и инструментальных средств при проектировании тепловой защиты зданий. Потому авторы исследования считают актуальным рассмотрение вопросов надежности конструкции секционного облицовочного слоя наружных ограждающих конструкций, имеющих непосредственное влияние на тепло-влажностный режим зданий и сооружений. Под секционным облицовочным слоем авторы исследования понимают любой облицовочный слой, состоящий из набора отдельных плит, пластин и прочих изделий разделяющих облицовочный слой на определенное число секций. К такого рода конструкциям относят панельные и кирпичные фасады.

**Цель исследования.** На основе распределения Пуассона получить вероятностную модель прогрессирующего разрушения секционного облицовочного слоя наружных стеновых ограждающих конструкций.

**Задачи исследования.**

1. Провести обзор научных разработок по теме исследования и определить степень проработки вопроса исследования;
2. Определить исходную постановку задачи моделирования разрушения секционного облицовочного слоя наружных стеновых ограждающих конструкций, в т. ч. входные данные и начальные условия.
3. Сформировать вероятностную модель разрушения секционного облицовочного слоя наружных стеновых ограждающих конструкций с использованием распределения Пуассона;
4. Апробировать модель на практическом примере.

**Предмет исследования:** секционный облицовочный слой наружной стеновой ограждающей конструкции

**Материалы и методы:** математическое моделирование с применением распределения Пуассона.

**Результаты:** математическая модель разрушения секционного облицовочного слоя наружной стеновой ограждающей конструкции на основе распределения Пуассона.

**Выводы:** проведен анализ научных разработок по тематике исследования, определена исходная постановка задачи моделирования разрушения секционного облицовочного слоя фасадной конструкции, получена математическая модель разрушения секционного облицовочного слоя фасадной конструкции, математическая модель апробирована на практическом примере, получены сведения о возможностях расчета срока эксплуатации фасадной конструкции с применением разработанного математического аппарата.

**Ключевые слова:** наружная стена, математическое моделирование, ограждающая конструкция, облицовочный слой, срок службы фасада

### ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции проектирования фасадных конструкций направлены на повышение их энергетической и экономической эффективности в составе зданий и сооружений в целом. Достижение этих целей при проектировании фасадных систем достигается за счет реализации следующих положений в процессе разработки проектных решений:

– Использование типовых конструктивных решений фасадных систем, отвечающих современным требованиям нормативно-технической документации и обладающих достаточной степенью теоретического и практического обоснования их эффективности, при проектировании объектов капитального строительства;

– Применение современных методов и алгоритмов расчета фасадных конструкций по

различным критериям (прочность, надежность, тепловая защита, влажностная защита и т. д.) на этапе проектирования зданий и сооружений с целью обоснования применимости проектного решения в конкретных условиях проектирования;

– Использование в рамках разрабатываемых проектных решений фасадных систем современных строительных материалов, строительного оборудования и прочих технологий, позволяющих повысить эффективность и надежность конструкции.

Реализация вышеописанных положений при проектировании конструкций диктует необходимость в разработке новых методик расчёта фасадных систем в части обоснования их экономической и энергетической эффективности. В частности, упомянутые тенденции требуют анализа прогнозируемого срока службы как зданий и сооружений в целом, так и отдельных систем в их составе. Прогнозирование срока службы фасадных

конструкций как для проектируемых, так и для эксплуатируемых зданий и сооружений позволит более точно обосновать применение того или иного решения фасадных конструкций, учитывая различные расчётные критерии эффективности системы и затраты на реализацию проектного решения. Описанные факторы позволили сделать вывод об актуальности проводимого исследования, целью которого является разработка методики моделирования разрушения секционного облицовочного слоя фасадных конструкций с использованием методов вероятностного моделирования. Данная методика позволит оценивать прогрессирование разрушения секционного облицовочного слоя фасадной конструкции во времени и, как следствие, при наложении граничных условий определять срок службы фасадной конструкции. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи исследования:

1. Провести обзор научных разработок по теме исследования и определить степень проработки вопроса исследования;
2. Определить исходную постановку задачи моделирования разрушения секционного облицовочного слоя наружных стеновых ограждающих конструкций, в т. ч. входные данные и начальные условия.
3. Сформировать вероятностную модель разрушения секционного облицовочного слоя наружных стеновых ограждающих конструкций с использованием распределения Пуассона;
4. Апробировать модель на практическом примере.

## АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

На первом этапе исследования были проанализированы научные разработки, относящиеся к тематике исследования [1-20]. Анализ научных исследований позволил сделать следующие выводы:

1. Научные разработки по теме исследования можно классифицировать по следующим признакам:

– *Критерий эффективности фасадной конструкции, рассматриваемый в рамках исследования:* разработки, рассматривающие вопросы прочности, устойчивости и жесткости фасадных конструкций [1-4]; разработки, анализирующие надежность фасадных конструкций и их поведение при эксплуатации [5-11]; разработки, анализирующие теплотехнические свойства фасадных систем [12-17]; разработки, рассматривающие вопросы экономической эффективности и/или экономического обоснования применения проектного решения фасадной конструкции [18-20].

– *Метод получения данных о фасадных конструкциях по тому или иному критерию:* математическое моделирование [1-5, 12-16], обследование введенных в эксплуатацию зданий

или сооружений [6-11], сравнительный анализ проектных решений, методик и/или статистических данных [17-20].

– *Характер полученных научных данных по тому или иному критерию в результате исследования:* новые сведения о поведении фасадных конструкций в условиях эксплуатации [1-4, 6, 10, 12-15, 17], рекомендации по выбору проектных решений или методик расчёта фасадных конструкций и их описание [5, 7-9, 11, 16, 18-20].

2. Основными недостатками рассмотренных научных исследований, характеризующими относительно невысокую значимость для проводимого исследования, являются:

– Ограниченность исследования поведения фасадных конструкций в рамках одного критерия эффективности конструкции, не дающего комплексного представления о поведении фасадных конструкций в условиях реальной эксплуатации [1-4, 12-17];

– Отсутствие выводов о сроках эксплуатации конструкций как одного из важнейших критериев обоснования надежности и экономической эффективности конструкций [5, 17-20];

– Массивность математического аппарата, используемого для описания свойств и/или поведения фасадных конструкций, не позволяющее сформулировать на основе результатов исследования конкретную методику расчёта или обоснования проектного решения, удобную для практического применения [1-4, 12-16].

Вышеописанные недостатки существующих научных разработок, относящихся к тематике исследования, позволили сделать вывод о недостаточной степени научной проработанности вопросов обоснования сроков эксплуатации фасадных конструкций объектов капитального строительства, а также определили целесообразность разработки математических моделей разрушения фасадных конструкций зданий и сооружений во времени. Подробное описание модели представлено в следующем разделе исследования.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Согласно поставленным задачам исследования на втором этапе сформулирована постановка задачи.

Пусть есть стеновая конструкция, состоящая из  $k$  слоёв. 1 слой конструкции – облицовочный секционный. Секционный слой состоит из  $N$  облицовочных секций (панелей). Схема представлена на рис. 1. Каждый слой конструкции обладает определенным набором характеристик  $\chi_j, j \in \square$ , описывающих физические свойства материалов слоёв. Требуется установить процесс разрушения (отказа работы) облицовочной секции и, основываясь на предельно допустимом числе упавших панелей  $n_u$  и полученной модели процесса

установить предельный срок службы фасадной конструкции.

Входными данными к разработке модели являются величины, описанные в таблице 1.

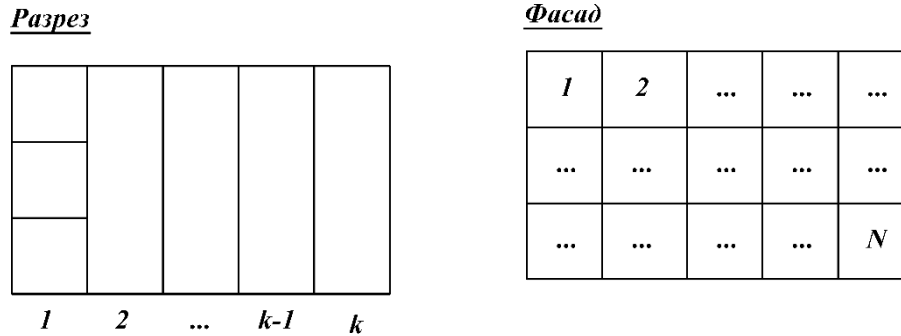


Рис. 1. Схема к постановке задачи  
Fig. 1. Scheme for problem statement

Таблица 1. Входные данные  
Table 1. Input data

Величина	Единица измерения	Обозначение
Количество слоёв конструкции	-	$k$
Количество панелей 1 слоя	-	$N$
Количество рассматриваемых величин, описывающих физические свойства материалов слоёв конструкции	-	$j$
$j$ -я(й) характеристика (критерий) $k$ -го слоя	$EI_{jk}^{-1}$	$\chi_{jk}$

Упомянутые входные данные позволяют описать критерий предельно допустимого числа упавших панелей. Определение предельно допустимого количества упавших секций по каждому критерию производится путём решения уравнения:

$$\chi_{jk}(N - n_u) = \chi_{jk}(N) - |\Delta\chi_{jk}| \rightarrow n_u(\chi_{jk}), \quad (1)$$

где  $\chi_{jk}(N)$  - значение характеристики (критерия) в нулевой момент времени, когда все секции функционируют;

$\chi_{jk}(N - n_u)$  - значения критерия при достижении предельного количества отказавших секций;

$|\Delta\chi_{jk}|$  - предельно допустимое изменение критерия;

$n_u(\chi_{jk})$  - решение уравнения относительно предельного числа панелей.

Таким образом, решая  $j \times k$  уравнений и получая соответствующее количество его решений, формируется матрица решений. За предельно допустимое число панелей принимается минимальное из решений:

$$n_u = \min \begin{bmatrix} n_u(\chi_{11}) & n_u(\chi_{21}) & \dots & n_u(\chi_{j1}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ n_u(\chi_{1k}) & n_u(\chi_{2k}) & \dots & n_u(\chi_{jk}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Примем, что за один раз число секций может изменяться только на единицу (т. е. события

падения панелей являются независимыми между собой). Тогда процесс уменьшения числа секций можно назвать пуассоновским потоком событий. Что означает, что за время эксплуатации конструкции  $T$  случится  $n$  случайных событий, соответствующих уменьшению числа секций. При чём в промежуток времени  $T$  вместится конечное количество промежутков времени  $\tau$ , в моменты между которыми количество секций уменьшится на единицу. Этот промежуток времени определяется как:

$$\tau = -\frac{1}{\lambda} \cdot \ln(P), \quad (3)$$

где  $P$  - вероятность наступления  $n$  событий пуассоновского потока. Определяется как равномерно распределённое случайное число в интервале от 0 до 1;

$\lambda$  - интенсивность процесса (среднее число событий в единицу времени).

Очевидно, что при эксплуатации сооружений:

$$T = \sum_{i=1}^n \tau_i; \quad (4)$$

Для определения начальной интенсивности процесса необходимо определить начальные условия:

-  $T_0$  - срок эксплуатации сооружения до начала моделирования. В случае зданий, вводимых в эксплуатацию, задается равным единице времени;

$n_0$  - количество упавших секций за срок эксплуатации  $T_0$ . В случае зданий, вводимых в

эксплуатацию, принимается на основании статистических данных, приведенных к единице времени в виде целого числа.

Тогда начальная интенсивность задается как:

$$\lambda_0 = \frac{N_0}{T_0}; \quad (5)$$

Затем на каждом этапе расчета интенсивность задается как:

$$\lambda_i = \frac{N_0 + (i-1)}{T_0 + \sum_{i=1}^{i-1} \tau_i}; \quad (6)$$

Таким образом можно выразить первичную модель процесса:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_i = -\frac{T_0 + \sum_{i=1}^{i-1} \tau_i}{N_0 + (i-1)} \cdot \ln(P_i), i \in \square; \\ \lambda_i = \frac{N_0 + (i-1)}{T_0 + \sum_{i=1}^{i-1} \tau_i}; \\ \lambda(n) = \frac{N_0 + (n-1)}{T_0 + \sum_{i=1}^{n-1} \tau_i}; \\ T(n) = \sum_{i=1}^n \tau_i; \\ T_u = T(n = n_u); \end{array} \right. \quad (7)$$

Процесс будут описывать функции  $T(n)$  и  $\lambda(n)$ . Отметим, что для получения наиболее вероятного значения функций, исключаящее чрезмерное завышение и занижение результатов, установленный алгоритм необходимо просчитывать

определенное число итераций для повышения точности вычислений. В дальнейшем при реализации модели авторы задаются 10000 итерациями алгоритма. Таким образом, если  $r$  – число итераций алгоритма, то итоговые функции срока эксплуатации и интенсивности будут выражаться как:

$$\langle T(n) \rangle = \frac{\sum_{r=1}^r T(n)_r}{r} \quad (8)$$

$$\langle \lambda(n) \rangle = \frac{\sum_{r=1}^r \lambda(n)_r}{r} \quad (9)$$

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В качестве простейшего примера реализации введём единственный эмпирический критерий конструкции  $\chi_{11}$ , подчиняющийся зависимостям:

$$\begin{aligned} \chi_{11}(N) &= 0; \\ \chi_{11}(N - 100) &= 1; \\ |\Delta \chi_{11}| &= 1; \end{aligned}$$

Откуда следует:

$$n_u = n_{u,11} = 100.$$

В качестве начальных условий зададим:

$$\begin{aligned} T_0 &= 1; \\ N_0 &= 10; \end{aligned}$$

В результате реализации алгоритма получим графическую интерпретацию результатов:

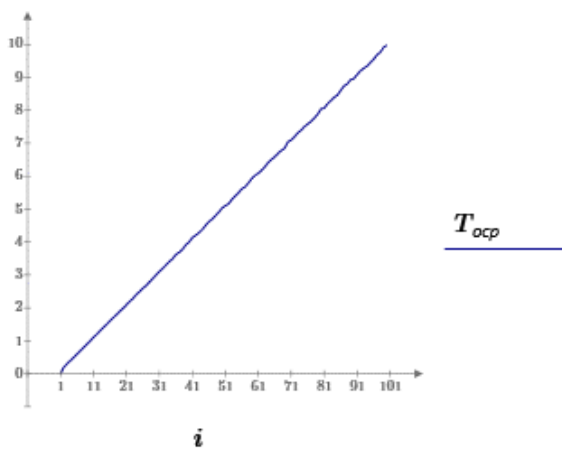


Рис. 2. График зависимости  $\langle T(n) \rangle$

Fig. 2. Dependency graph  $\langle T(n) \rangle$

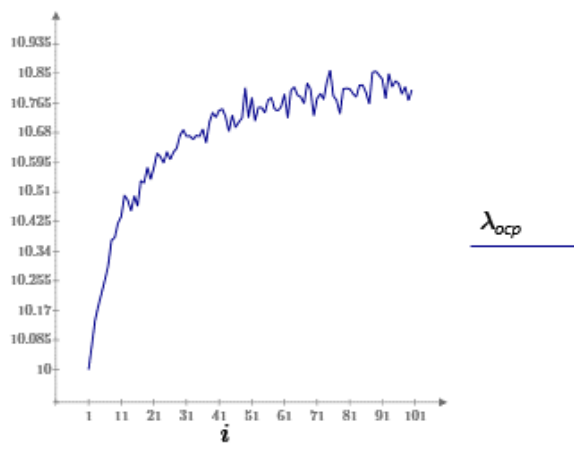


Рис. 3. График зависимости  $\langle \lambda(n) \rangle$

Fig. 3. Dependency graph  $\langle \lambda(n) \rangle$

Аппроксимируя зависимость  $\langle T(n) \rangle$  к линейной функции, а  $\langle \lambda(n) \rangle$  к логистической кривой, получим функции вида:

$$T(n) = a_1 + a_2 n, \quad (10)$$

где  $a_1$  и  $a_2$  - коэффициенты аппроксимации функции  $\langle T(n) \rangle$  к линейной. В случае поставленного численного примера  $a_1 = 0,001$ ,  $a_2 = 0.1$ .

$$\lambda(n) = \frac{b_1}{1 + b_2 \cdot \exp(-b_3 \cdot n)}, \quad (11)$$

где  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  - коэффициенты аппроксимации функции  $\langle \lambda(n) \rangle$  к логистической кривой. В случае

поставленного численного примера  $b_1 = 10,797$ ;  $b_2 = 0,076$ ;  $b_3 = 0,062$ .

В дальнейшем повторяя эту операцию, варьируя входные данные  $T_0$  и  $N_0$ , т. е. задавая исходную интенсивность процесса можно получить значения коэффициентов аппроксимированных функций и их значения для ряда значений входных данных. Значения указанных функций для целочисленных значений интенсивности процесса от 1 до 20 представлены в таблице 2.

По данным таблицы 2 можно определить график зависимости конечного срока службы фасада  $T$  при заданных граничных условиях от заданной интенсивности процесса  $\lambda$  (см. рис. 5).

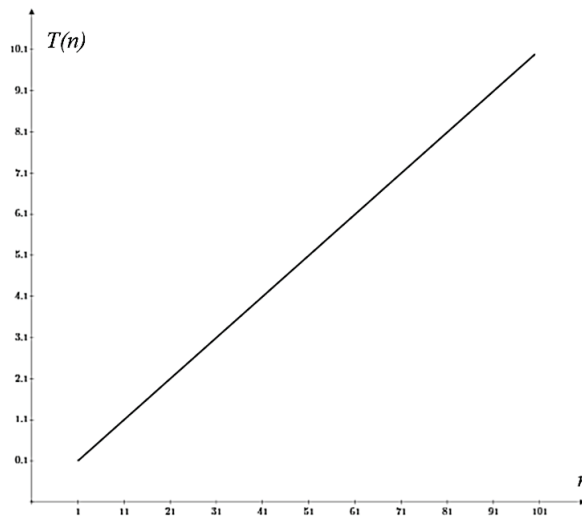


Рис. 4. Аппроксимированная к линейной функция срока эксплуатации фасада  
 Fig. 4. Facade service life function approximated to linear

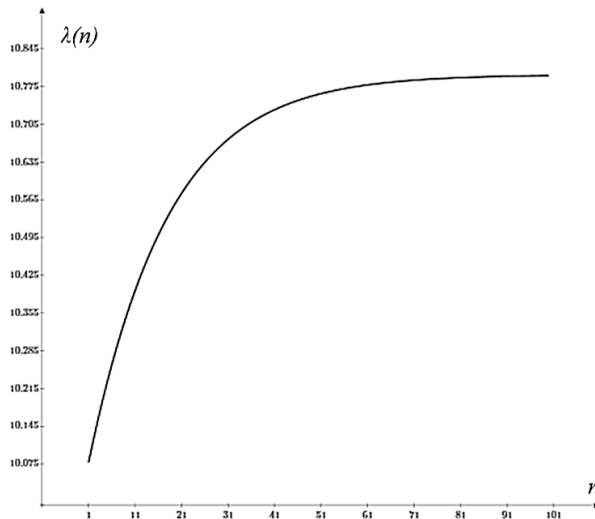
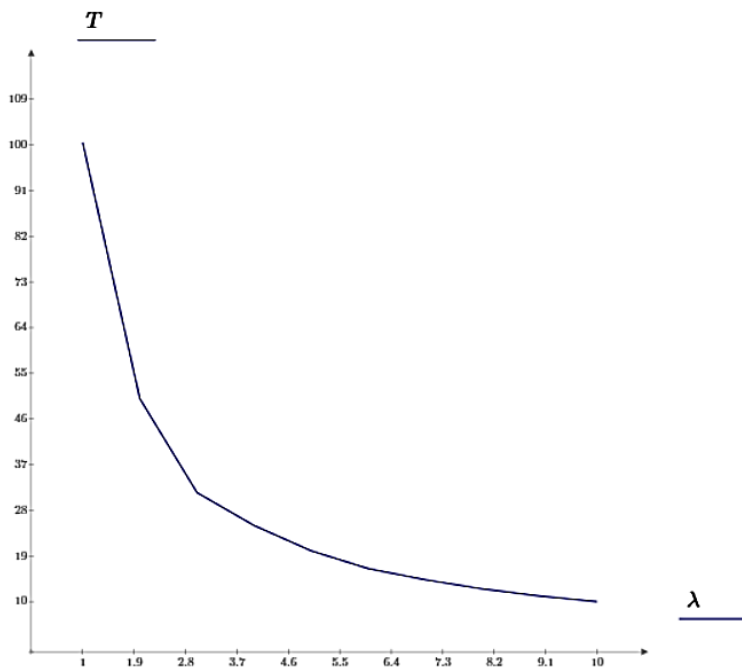


Рис. 5. Аппроксимированная к логистической кривой функция интенсивности разрушения фасада  
 Fig. 5. Facade fracture intensity function approximated to the logistic curve

**Таблица 2.** Срок эксплуатации фасада и интенсивность процесса в зависимости от начальной интенсивности

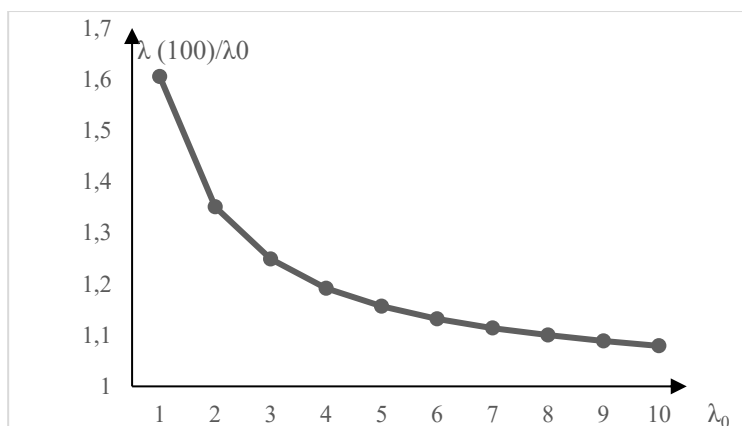
**Table 2.** Façade service life and process intensity depending on the initial intensity

Начальная интенсивность $\lambda_0$	Функция $T(n)$			Функция $\lambda(n)$			
	$a_1$	$a_2$	$T(100)$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$\lambda(100)$
1	-0.102	1.002	100.5	1.605	0.571	0.228	1.605
2	-0.041	0.501	50.0	2.701	0.329	0.154	2.701
3	-0.003	0.333	31.5	3.746	0.226	0.118	3.746
4	0.009	0.250	25.0	4.766	0.175	0.101	4.766
5	-0.009	0.200	20.0	5.782	0.142	0.086	5.782
6	-0.011	0.167	16.5	6.790	0.120	0.076	6.790
7	-0.011	0.143	14.3	7.796	0.104	0.072	7.796
8	-0.009	0.125	12.5	8.801	0.093	0.064	8.801
9	-0.002	0.111	11.1	9.799	0.083	0.062	9.797
10	-0.006	0.100	10.0	10.792	0.074	0.060	10.790



**Рис. 6.** График зависимости срока службы фасада  $T$  от начальной интенсивности процесса  $\lambda$  при предельном количестве упавших панелей  $n = 100$

**Fig. 6.** Graph of the dependence of the service life of the façade  $T$  on the initial intensity of the process  $\lambda$  at the limit number of fallen panels  $n = 100$



**Рис. 7.** График зависимости изменения интенсивности процесса относительно начальной

**Fig. 7.** Graph of the dependence of the change in the intensity of the process relative to the initial one

## ВЫВОДЫ

На завершающем этапе исследования были сформулированы следующие положения:

– Разработанная математическая модель позволяет получить стабильные средние значения функций интенсивности процесса разрушения облицовочного слоя фасада и срока его эксплуатации;

– Функция среднего срока эксплуатации фасада в зависимости от числа отказавших секций облицовочного слоя конструкции описывается линейной зависимостью;

– Средняя интенсивность процесса разрушения облицовочного слоя фасада в зависимости от числа отказавших секций описывается логистической кривой;

– При возрастании количества отказавших секций значение средней интенсивности процесса стабилизируется вокруг определенного значения функции;

– Значение, вокруг которого стабилизируется функция средней интенсивности процесса, при возрастании начальной интенсивности процесса стремится к этому начальному значению (см. рис. 6).

В результате исследования можно констатировать выполнение поставленных задач исследования:

1. Проведен анализ научных разработок по тематике исследования;

2. Определена исходная постановка задачи моделирования разрушения секционного облицовочного слоя фасадной конструкции;

3. Получена математическая модель разрушения секционного облицовочного слоя фасадной конструкции;

4. Математическая модель апробирована на практическом примере, получены сведения о возможностях расчета срока эксплуатации фасадной конструкции с применением разработанного математического аппарата.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Combined behavior of the hinged facade system and reinforced concrete frame of the building under seismic impact / V. A. Rybakov, D. A. Saburov, K. V. Gusev, A. V. Galyamichiev // *Construction of Unique Buildings and Structures*. – 2023. – No. 4(109). – P. 10901. – DOI 10.4123/CUBS.109.1. – EDN JJWQCI;

2. Галямичев, А. В. Особенности сбора нагрузок на фасадные конструкции для их расчета по первому и второму предельным состояниям / А. В. Галямичев // *Светопрозрачные конструкции*. – 2015. – № 2(100). – С. 22-27. – EDN ZWUTXF;

3. Фроловская, А. В. Влияние дополнительных нагрузок от навесных фасадных систем при реконструкции зданий / А. В. Фроловская, М. А. Плясунова // *Актуальные вопросы и инновации в обследовании строительных конструкций зданий и сооружений* : Сборник научных статей по

материалам Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 23–24 мая 2024 года. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2024. – С. 55-57. – EDN MSBBJR;

4. Павлова, М. О. К вопросу определения причин трещинообразования в тонких крупноформатных облицовочных плитах / М. О. Павлова, В. А. Захаров, Л. И. Кошелева // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. – 2022. – № 4. – С. 34-46. – DOI 10.37153/2618-9283-2022-4-34-46. – EDN PWEWJW.;

5. Методы, используемые для оценки надежности строительных конструкций / П. В. Романюк, Г. А. Столповский, Т. С. Сорокина [и др.] // *Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии* : Сборник статей 81-ой Всероссийской научно-технической конференции, Самара, 15–19 апреля 2024 года. – Самара: Самарский государственный технический университет, 2024. – С. 1042-1050. – EDN MIOCFZ.;

6. Бабкин, С. В. Анализ результатов обследования типовых навесных фасадных систем / С. В. Бабкин, И. В. Гиясова // *Инженерный вестник Дона*. – 2022. – № 12(96). – С. 684-693. – EDN JZGANY.;

7. Пахомова, А. Ю. Особенности капитального ремонта фасадов зданий в сложившейся застройке / А. Ю. Пахомова // *Образование. Наука. Производство* : Сборник докладов XIV Международного молодежного форума, Белгород, 13–14 октября 2022 года. Том Часть 20. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 164-166. – EDN BLFGJM.;

8. Кондратенко, Т. О. Технические решения по обслуживанию фасадов высотных зданий / Т. О. Кондратенко // *Строительство и архитектура - 2021* : Материалы Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 19–23 апреля 2021 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Донской государственный технический университет. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2021. – С. 223-225. – EDN YUULAX.;

9. Воронин, А. В. Проблемы повышения эффективности капитальных ремонтов зданий / А. В. Воронин // *Инновационное развитие строительства и архитектуры: взгляд в будущее* : Сборник тезисов участников Международного студенческого строительного форума - 2023, Симферополь, 15–17 ноября 2023 года. – Симферополь: ООО "Издательство Типография "Ариал", 2023. – С. 187-191. – EDN MRJHEM.;

10. Моисеев, С. Р. Техническая эксплуатация элементов фасадов зданий и сооружений / С. Р. Моисеев // *Молодежь и системная модернизация страны* : Сборник научных статей 8-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых. В 4-х томах, Курск, 16–17 мая

2024 года. – Курск: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 481-484. – EDN CFCECF.

11. Кушнир, С. В. Новое в подходе к обследованию фасадов зданий / С. В. Кушнир // Международный строительный конгресс. Наука. Инновации. Цели. Строительство : Сборник тезисов докладов, Москва, 11–13 апреля 2023 года. – Москва: АО «НИЦ «Строительство», 2023. – С. 212-214. – DOI 10.37538/2949-219X-2023-212-214. – EDN YTLGFM.

12. Туснина, В. М. К вопросу теплотехнического расчета неоднородных ограждающих конструкций зданий / В. М. Туснина, Д. Ш. Файзов // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – № 4. – С. 19-24. – EDN YKPKDKR.

13. Вытчиков, Ю. С. Оптимизация тепловлажностного режима многослойных строительных ограждающих конструкций / Ю. С. Вытчиков, М. Е. Сапарев, Д. Д. Конякина // Градостроительство и архитектура. – 2020. – Т. 10, № 4(41). – С. 36-41. – DOI 10.17673/Vestnik.2020.04.5. – EDN HPRRPI.

14. Гагарин, В. Г. Математическое моделирование нестационарного влажностного режима ограждений с применением дискретно-континуального подхода / В. Г. Гагарин, К. П. Зубарев // Вестник МГСУ. – 2020. – Т. 15, № 2. – С. 244-256. – DOI 10.22227/1997-0935.2020.2.244-256. – EDN LQXAWF.;

15. Шуршилин, Е. А. Влияние отказа работы облицовочных панелей на теплотехнические свойства навесных вентилируемых фасадных конструкций / Е. А. Шуршилин, Я. А. Олехнович // Строительство и техногенная безопасность. – 2024. – № 32(84). – С. 55-62. – DOI 10.29039/2413-1873-2024-32-55-62. – EDN LDGNFF.

16. Шуршилин, Е. А. Оптимизация стоимости теплоизоляции за счёт учёта влияния воздушных прослоек на энергоэффективность навесных вентилируемых фасадов / Е. А. Шуршилин, Я. А. Олехнович // Неделя науки ИСИ : Сборник материалов Всероссийской конференции, Санкт-Петербург, 03–09 апреля 2023 года. Том Часть 2. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2023. – С. 183-186. – EDN VRIIAG.

17. Бабкин, С. В. Анализ теплозащитных свойств навесных фасадных систем многоэтажных жилых зданий г. Москвы / С. В. Бабкин, Р. Б. Гиясов, И. В. Гиясова // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 1(109). – С. 305-313. – EDN НКТJRL.

18. Экономическое обоснование надежности и долговечности строительных конструкций зданий и сооружений / В. Н. Левченко, В. И. Кротюк, С. Н. Водолазский [и др.] // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2022. – № 1(153). – С. 91-98. – EDN QBUQZW.

19. Воднева, В. С. Сравнительный анализ эффективности устройства фасадных систем / В. С.

Воднева // Избранные доклады 67-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых : Доклады конференции студентов и молодых ученых, Томск, 19–23 апреля 2021 года. – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2021. – С. 171-177. – EDN GWVJAD.

20. Крылов, С. А. Анализ стоимости фасадных систем с учетом эксплуатационных затрат / С. А. Крылов, Т. М. Бочкарева // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2021. – Т. 2. – С. 165-171. – EDN ZJLRCD.

## REFERENCES

1. Combined behavior of the hinged facade system and reinforced concrete frame of the building under seismic impact / V. A. Rybakov, D. A. Saburov, K. V. Gusev, A. V. Galyamichev // Construction of Unique Buildings and Structures. – 2023. – No. 4(109). – P. 10901. – DOI 10.4123/CUBS.109.1. – EDN JJWQCI;

2. Galyamichev A. V. Features of collecting loads on façade structures for their calculation according to the first and second limit states. – 2015. – № 2(100). – P. 22-27. – EDN ZWUTXF;

3. Frolovskaya, A. V. Influence of Additional Loads from Hinged Facade Systems in the Reconstruction of Buildings / A. V. Frolovskaya, M. A. Plyasunova // Actual Issues and Innovations in the Survey of Construction Structures of Buildings and Structures: Collection of scientific articles based on the materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Krasnoyarsk, May 23–24, 2024. – Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2024. – P. 55-57. – EDN MSBBJR;

4. Pavlova M. O., Zakharov V. A., Kosheleva L. I. On the issue of determining the causes of cracking in thin large-format facing plates. Safety of structures. – 2022. – № 4. – With. 34-46. – DOI 10.37153/2618-9283-2022-4-34-46. – EDN PWEWJW.;

5. Methods used to assess the reliability of construction structures / P. V. Romanyuk, G. A. Stolpovskiy, T. S. Sorokina [i dr.] // Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Construction and Construction Technologies: Collection of Articles of the 81st All-Russian Scientific and Technical Conference, Samara, April 15–19, 2024. – Samara: Samara State Technical University, 2024. – P. 1042-1050. – EDN MIOCFZ.;

6. Babkin S. V., Giyasova I. V. Analysis of the results of the examination of typical hinged façade systems / S. V. Babkin, I. V. Giyasova // Inzhenernyy vestnik Dona. – 2022. – № 12(96). – P. 684-693. – EDN JZGANY.;

7. Pakhomova A. Yu. Science. Production: Collection of reports of the XIV International Youth Forum, Belgorod, October 13–14, 2022. Volume Part 20. – Belgorod: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2022. – P. 164-166. – EDN BLFGJM.;

8. Kondratenko T. O. Technical solutions for servicing the facades of high-rise buildings / T. O.

- Kondratenko // Construction and architecture - 2021 : Materials of the International Scientific and Practical Conference, Rostov-on-Don, April 19–23, 2021 / Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Don State Technical University. – Rostov-on-Don: Don State Technical University, 2021. – P. 223-225. – EDN YUULAX.;
9. Voronin A. V. Problems of improving the efficiency of capital repairs of buildings / A. V. Voronin // Innovative development of construction and architecture: a look into the future: Collection of theses of participants of the International Student Construction Forum - 2023, Simferopol, November 15–17, 2023. – Simferopol: Arial Printing House LLC, 2023. – P. 187-191. – EDN MRJHEM.;
10. Moiseev S. R. Technical Operation of Elements of Facades of Buildings and Structures / S. R. Moiseev // Youth and System Modernization of the Country: Collection of Scientific Articles of the 8th International Scientific Conference of Students and Young Scientists. In 4 volumes, Kursk, May 16–17, 2024. – Kursk: ZAO "Universitetskaya kniga", 2024. – P. 481-484. – EDN CFCECF.
11. Kushnir S. V. Novoe v podkhode k obsledovaniyu facadov zdaniy [New in the approach to the examination of building facades] / S. V. Kushnir // Mezhdunarodnyy stroitel'nyy kongres. Science. Innovation. Goal. Construction : Collection of abstracts of reports, Moscow, April 11–13, 2023. – Moscow: JSC "Research Center "Construction", 2023. – P. 212-214. – DOI 10.37538/2949-219X-2023-212-214. – EDN YTLGFM.
12. Tushina V. M., Faizov D. Sh. Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. – 2017. – № 4. – P. 19-24. – EDN YKPKDR.
13. Vytchikov, Y. S. Optimization of the Heat and Humidity Regime of Multilayer Construction Enclosing Structures / Y. S. Vytchikov, M. E. Saparev, D. D. Konyakina // Urban Planning and Architecture. – 2020. – T. 10, No 4 (41). – P. 36-41. – DOI 10.17673/Vestnik.2020.04.5. – EDN HPRRPI.
14. Gagarin, V. G. Mathematical Modeling of the Non-Stationary Humidity Regime of Fences with the Application of the Discrete-Continuum Approach / V. G. Gagarin, K. P. Zubarev // Vestnik MGSU. – 2020. – T. 15, No 2. – P. 244-256. – DOI 10.22227/1997-0935.2020.2.244-256. – EDN LQXAWF.;
15. Shurshilin E. A., Olekhnovich Y. A. Influence of failure of facing panels on thermal properties of hinged ventilated façade structures. – 2024. – № 32(84). – pp. 55-62. – DOI 10.29039/2413-1873-2024-32-55-62. – EDN LDGNFF.
16. Shurshilin E. A., Olekhnovich Y. A. Optimization of the cost of thermal insulation due to the consideration of the influence of air layers on the energy efficiency of hinged ventilated facades // ICE Science Week: Collection of Materials of the All-Russian Conference, St. Petersburg, April 03–09, 2023. Volume Part 2. – St. Petersburg: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University", 2023. – P. 183-186. – EDN VRIIAG.
17. Babkin S. V., Giyasov R. B., Giyasova I. V. Inzhenernyy vestnik Dona [Engineering bulletin of the Don]. – 2024. – № 1(109). – P. 305-313. – EDN HKTJRL.
18. Economic substantiation of reliability and durability of building structures / V. N. Levchenko, V. I. Krotyuk, S. N. Vodolazsky // Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture. – 2022. – № 1(153). – P. 91-98. – EDN QBUQZW.
19. Vodneva, V. S. Comparative Analysis of the Efficiency of Facade Systems / V. S. Vodneva // Selected reports of the 67th University Scientific and Technical Conference of Students and Young Scientists: Reports of the Conference of Students and Young Scientists, Tomsk, April 19–23, 2021. – Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, 2021. – P. 171-177. – EDN GWVJAD.
20. Krylov S. A., Bochkareva T. M. Analysis of the cost of façade systems taking into account operational costs. Theory and practice. – 2021. – T. 2. – P. 165-171. – EDN ZJLRCD.

## MODELING THE DESTRUCTION OF SECTIONAL CLADDING A LAYER OF EXTERNAL WALL ENCLOSING CONSTRUCTIONS USING THE POISSON DISTRIBUTION

Shurshilin<sup>1</sup> E. A., Olekhovich<sup>2</sup> Ya. A.

St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Polytechnic street, 29,  
E-mail: <sup>1</sup> shurshilin.ca@edu.spbstu.ru, <sup>2</sup>olekhovich.yaa@spbstu.ru

**Abstract:** The relevance of research. The reliability of building structures is a key issue in the implementation of construction projects. In most cases, researchers consider and study the reliability of structures of load-bearing elements of buildings and structures that directly affect the rigidity, strength and stability of buildings and structures when investigating the issues of the service life of a particular structure. Nevertheless, in addition to the safety of buildings and structures, it has also become relevant to increase the energy efficiency of construction sites, including through the use of new technologies, techniques and tools in the design of thermal protection of buildings. Therefore, the authors of the study consider it relevant to consider the reliability of the construction of sectional cladding layers of external enclosing structures that have a direct impact on the heat and humidity conditions of buildings and structures. By a sectional cladding layer, the authors of the study mean any cladding layer consisting of a set of individual plates, plates and other products dividing the cladding layer into a certain number of sections. Such structures include panel and brick facades.

**The purpose of the study.** Based on the Poisson distribution, we obtain a probabilistic model of the progressive destruction of the sectional cladding layer of external wall enclosing structures.

Research objectives.

1. To review scientific developments on the research topic and determine the degree of elaboration of the research issue;
2. To determine the initial formulation of the problem of modeling the destruction of the sectional cladding layer of external wall enclosing structures, including input data and initial conditions.
3. To form a probabilistic model of the destruction of the sectional cladding layer of external wall enclosing structures using the Poisson distribution;
4. Test the model using a practical example.

**Subject of the study:** sectional cladding layer of an external wall enclosing structure

**Materials and methods:** mathematical modeling using Poisson distribution.

**Results:** a mathematical model of the destruction of the sectional cladding layer of an external wall enclosing structure based on the Poisson distribution.

**Conclusions:** the analysis of scientific developments on the research topic was carried out, the initial formulation of the problem of modeling the destruction of the sectional cladding layer of the facade structure was determined, a mathematical model of the destruction of the sectional cladding layer of the facade structure was obtained, the mathematical model was tested on a practical example, information was obtained on the possibilities of calculating the service life of the facade structure using the developed mathematical apparatus.

**Key words:** exterior wall, mathematical modeling, enclosing structure, cladding layer, facade service life