

ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ, НАДЕЖНОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ В АРХИТЕКТУРНОЙ ЭКОЛОГИИ

С позиции систематологии и системного анализа архитектурная экология является экологической подсистемой. По существующей классификации её следует считать системой особой сложности по признаку отсутствия в ней большого количества разнообразных элементов биологического (материального) и абстрактного (ментального) характера. По типу связей данная система является стохастической (вероятностной) в связи с воздействием различных факторов случайного содержания. По характеру процессов, имеющих критические состояния, архитектурную экологию следует считать динамической. По составу элементов и связям её необходимо рассматривать как комплексную, включающую экономические, технические, биологические, социальные, культурные и эстетические аспекты.

Изучение и анализ таких систем является достаточно сложным процессом. В общей систематологии предлагается метод «декомпозиции системы на подсистемы» различного ранга. В этом приёме реализуется принцип иерархичности (соподчинения). В подсистемах устанавливаются интегральные показатели, которые характеризуют их в целом. Этот метод даёт два преимущества: 1) упрощает исследование, осуществляя их автономию; 2) сокращает количество связей между элементами системы, т.к. в качестве элементов рассматриваются подсистемы с интегральными свойствами.

В статье применяется метод декомпозиции экологической системы в наиболее простой форме, в которой используются интегральные характеристики. Рассматривается возможность применения методов теории надёжности и методов оптимизации к анализу функционирования экологической системы. Следуя методу декомпозиции используется двухкомпонентная модель, в которой рассматривается обобщённый показатель «экологического комфорта» и «уровень повреждения природы», а также более общая постановка. Функционирование экосистемы анализируется с позиций оптимизации, надёжности и живучести.

Показана возможность исследования экосистемы методом «декомпозиции» на примере экспериментального исследования процесса восстановления элемента экосистемы (травяной покров после природного пожара) после экстремального воздействия. Приведены результаты этих исследований и получены некоторые результаты и закономерности.

Показана возможность применения вероятностных и детерминированных моделей на основе модели экосистемы, в которой элементы взаимодействуют через связи при наличии их частичной или полной повреждаемости.

Ключевые слова: экосистема, оптимизация, надёжность, живучесть, детерминированные и стохастические модели, метод декомпозиции.

ISSUES OF OPTIMIZATION, RELIABILITY AND SURVIVABILITY IN ARCHITECTURAL ECOLOGY

From the position of systemology and systems analysis architectural ecology is an ecological subsystem. According to the existing classification, it should be considered a

system of special complexity due to the absence in it a large number of diverse elements of biological (material) and abstract (mental) nature. According to the type of connections this system is stochastic (probabilistic) due to the influence of various factors of random content. By the nature of processes that have critical states, architectural ecology should be considered dynamic. The composition of elements and relationships it should be regarded as a complex, including economic, technical, biological, social, cultural and aesthetic aspects.

The study and analysis of such systems is quite a complex process. The method of “system decomposition into subsystems” of various ranks is proposed in general systematics. This method implements the principle of hierarchy (co-subordination). Integral indices are set in subsystems, which characterize them as a whole. This method gives two advantages: 1) it simplifies the research, implementing their autonomy; 2) it reduces the number of links between the elements of the system, because subsystems with integral properties are considered as elements.

The article applies the method of decomposition of ecological system in the simplest form, which uses integral characteristics. The possibility of applying methods of reliability theory and optimization methods to the analysis of ecological system functioning is considered. Following the decomposition method, a two-component model is used, in which the generalized indicator of “ecological comfort” and “level of damage to nature” are considered, as well as a more general statement. Ecosystem functioning is analyzed from the positions of optimization, reliability and survivability.

The possibility of studying the ecosystem by “decomposition” method is shown on the example of experimental study of the process of restoration of an ecosystem element (grass cover after a natural fire) after an extreme impact. The results of these studies are presented and some results and regularities are obtained.

The possibility of applying probabilistic and deterministic models based on the ecosystem model, in which elements interact through relationships in the presence of their partial or complete damage is shown.

Keywords: *ecosystem, optimization, reliability, survivability, deterministic and stochastic models, decomposition method.*

Проблема общей экологии связана с влиянием многих факторов, определяющих функционирование экологической системы. Экологическая система является достаточно сложной, так как в ней взаимодействуют геосфера, гидросфера, атмосфера, ионосфера и биосфера. Человек относится к биосфере. Его деятельность влияет на функционирование общей экологической системы. Архитектурную экологию следует рассматривать как одно из направлений. Наиболее простой моделью этого направления является система «природа-человек-архитектурный объект» [3, 2, 1, 5, 6, 7].

В архитектурной экологии сформулированы следующий принципы при проектировании архитектурной среды (пространства): целостности и единства природы и человека, устойчивости, безопасности, феноменологичности (уникальности), автономности, биопозитивности (приоритет природы), комфортности, гармонизации, адаптации во времени.

Предложены методы достижения экологического архитектурного пространства: ком-

плексного архитектурного экологического подхода на основе изучения системы «природа-человек-архитектурный объект»; ориентированного проектирования при учёте природных условий и градостроительной ситуации; оценки по рациональности и оптимальности показателей экологической системы; моделирования взаимодействия элементов системы; аналогий на основе учёта существующих архитектурных объектов; биоклиматической архитектуры как комфорт при минимальной энергопотреблении; многофункциональности [1, 2, 3, 5, 6].

Появилось направление «зелёная архитектура», в котором сформулирован принцип – «зелёные острова» [5], или сетка озеленённых пространств в комбинации с композиционным принципом [7]. В связи с этим направлением возник принцип «открытости», в котором отражена потребность человека в контакте с природой.

Формулирование принципов определяет сознание и развитие идеологии, необходи-

мой для формирования личности в направлении экологического взаимодействия с обществом, культурой и природой.

Реализацией принципов способствуют методы и средства. В архитектурной экологии средствами являются объёмно-планировочные (пространственные), дизайнерские и гармоничные решения.

Оптимизация экологической системы. Явления, наблюдаемые в настоящее время, свидетельствуют о существенных негативных изменениях в экологической системе. Ставится проблема «устойчивого развития» в следующей формулировке: комплекс мер для удовлетворения потребностей человека при сохранении окружающей среды и ресурсов [2, 3, 1]. Проблема возвращения окружающей среды в прежнее состояние (примерно 100-150 лет назад) не ставится. Задача сохранения среды вряд ли может быть решена в современных условиях и морально-этических представлениях человеческого сообщества.

Наиболее возможным, вероятно, является оптимизация функционирования экологической системы. Суть оптимизации применительно к данной системе состоит в том, чтобы развивать человеческое сообщество при минимальном ущербе для природы и обеспечении некоторого гарантированного резерва сохранения.

Математическая теория оптимизации разработана до стадии, позволяющей решать практические задачи в различных направлениях в технической и экономической деятельности [8, 9, 2, 3, 5, 6].

Физическая постановка задачи оптимизации состоит в следующем: имеется набор параметров, характеризующих объект или явление; определить наилучшие значения параметров, дающих положительный или отрицательный эффект.

Математическая постановка этой задачи: имеется множество значений x_j ; среди этого множества найти значения x_{oi} , которые приведут к определению экстремальных (макси-

мальных или минимальных) значений функции $y_i = \varphi_i(x_{oi})$.

Применительно к экологической системе эта постановка может быть интерпретирована так: имеется множество параметров x_j , характеризующих экологическую систему; функционирование системы моделируется системой уравнений $y_j = \varphi_j(x_j)$, где i – количество уравнений и соответствующих ограничений; среди значений параметров определить такие, которые дадут минимальное значение y_j , характеризующие деградацию экологической системы и максимальные значения y_j , характеризующие ее устойчивое развитие (эволюция).

Задача оптимизации экологической системы может быть решена по двум схемам: 1) детерминантная и 2) стохастическая. В первой предполагается, что все параметры и их преобразования вполне определенные. Во второй считается, что все параметры являются случайными величинами, а преобразование осуществляется по закономерностям случайных процессов (случайных функций) [15, 17].

Наиболее простой вариант задачи – одномерная оптимизация (одномерное пространство). Этот вариант предполагает, что функционирование системы можно характеризовать одним параметром и соответствующим ему одним показателем. Для экологической системы предлагается введение параметра $x = x_{mb}$ – мера внешнего воздействия на систему и показателя $y = y_{пк}$ – показатель комфорта как функция от x_{mb} . Это соответствует современным знаниям о функционировании экологической системы. С повышением комфорта увеличивается воздействие на окружающую среду. При этом известно, что увеличение воздействий на природу приводит к её деградации.

Математически эти процессы могут быть представлены детерминированными функциями (рис.1а): $y_1 = \varphi_1(x)$ – функция эволюции комфорта (п.1); $y_2 = \varphi_2(x)$ – функция деградации системы (п.2).

Функции y_1 и y_2 являются противополож-

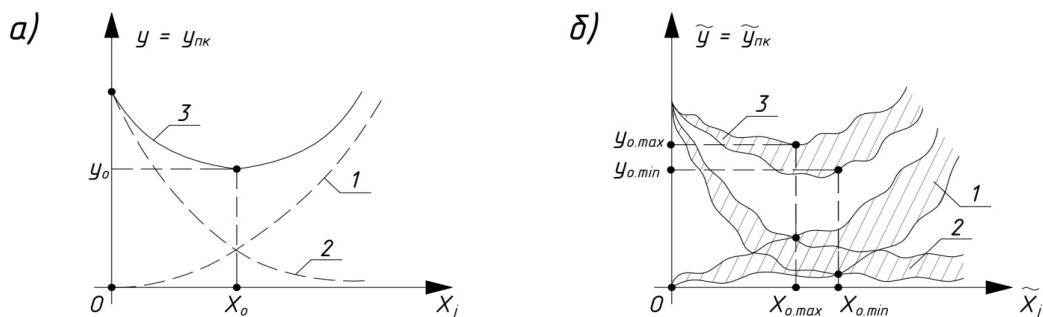


Рис.1. Схемы задачи оптимизации экосистемы: а – детерминированная; б – стохастическая. 1 – функция комфорта; 2 – функция деградации; 3 – функция оптимизации.

ными по смыслу: увеличение (x) даёт противоположный эффект (философский принцип «единство и борьба противоположностей»).

В настоящее время нет экспериментальных данных определить вид y_1 и y_2 . Математически можно рассмотреть различные варианты. Например:

- 1) $y_1 = x; y_2 = -ax + b;$
- 2) $y_1 = ax; y_2 = -x + b/a;$
- 3) $y_1 = ax; y_2 = \exp(-bx).$

В соответствии с этими вариантами функция у принимает вид:

- 1) $y = y_1 * y_2 + c (y = -ax^2 + bx + c)$
- 2) $y = y_1 * y_2 (y = ax * e^{-bx}).$

Целью задачи является определение значения параметра – x_0 , которое даёт минимальное значение показателя y_0 . В теории оптимизации решение находится решением системы уравнений: $y = y_1 * y_2 + c; dy/dx = 0$.

Для определения $x = x_{мв}$ и $y = y_{пк}$ может быть применён метод независимых коэффициентов, учитывающих влияние различных факторов:

$$x_{мв} = k_1 * k_2 * \dots * k_n = \prod_{i=1}^n k_i;$$

$$y_{пк} = d_1 * d_2 * \dots * d_m = \prod_{j=1}^m d_j.$$

В детерминированном подходе надёжность функционирования экологической системы может быть обеспечена сравнением «меры воздействия» с её критической величиной $x_{кр} = x_{мв.кр}$. Если $x_{о.мв} \leq \gamma * x_{мв.кр}$, то надёжность как детерминированный запас устойчивости системы обеспечен, где $\gamma > 0$ – коэффициент надёжности, а $x_{мв.кр}$ – установленный уровень, при котором система становится неустойчивой [10, 11, 12, 19, 13, 14].

Оптимизация в данном подходе состоит в том, что достигается определённый уровень комфортности при минимальном ущербе для природы. Такая постанова приводит к ограничению комфорта. В настоящее время имеются факты о том, что чрезмерный комфорт приводит к деградации человеческого сообщества вследствие чрезмерного потребления и снижения физической нагрузки. Таким образом, определения «оптимального комфорта» является актуальной задачей.

Стохастический (вероятностный) подход. В этом подходе параметры и показатели представляются как случайные величины [15, 17], а экологические процессы – как функции случайных величин или случайные функции (случайные процессы). В такой постановке целью расчетов и исследований является не только определения определенных величин, действующих в процессе, но и их вероятности появления.

Стохастический подход является предпочтительным, т.к. он ближе соответствует

действительным явлениям природы и социальным сообществам.

На рис.16 показана схема задачи оптимизации при вероятностном подходе по аналогии с детерминированной схемой (рис.1а): линии – п.1 и 2 соответствуют функциям $\tilde{y}_1(t) = \varphi_1(\tilde{x}, t)$ и $\tilde{y}_2(t) = \varphi_2(\tilde{x}, t)$ как случайным процессам (совокупность их реализаций), где знак \sim – означает наличие случайной изменчивости; линии – п.3 соответствуют функции $\tilde{y}(t) = \tilde{y}_1(t) * \tilde{y}_2(t)$. В таком представлении возникает задача оптимизации параметров случайных функций – $\tilde{y}(t)$.

В этом представлении понятие «экологическое равновесие» приобретает вероятностный (стохастический) смысл, т.к. на экосистему постоянно влияют изменяющиеся внешние экологические факторы, что вызывают флюктуации экосистемы с повышением и понижением численности популяций разных видов и их биологической продукции.

Это графически представлено на рис.16 линиями – п.3, как заключенным между максимальными и минимальными значениями. Тогда $[y_{i.min}(t) \dots y_{i.max}(t)]$ – интервал изменения вследствие случайных отклонений (реализаций) случайного процесса – $\tilde{y}(t)$. Задача оптимизации – $\tilde{y}(t)$ состоит в определении диапазона $[x_{o.min} \dots x_{o.max}]$ и соответствующих значений $\min y_0$ и $\max y_0$, которые являются оптимальными. Эти значения не являются детерминированными (определёнными). Они изменчивы в выше указанных пределах и подчиняются определённым законам распределения – f_x и F_x и f_y и F_y . Вероятность определённых значений x и y по правилам теории вероятностей определяется интегрирование.

$$P\{x \leq [x]\} = \int_{x_{o.min}}^{[x]} f(x) dx$$

$$P\{x > [x]\} = \int_{[x]}^{x_{o.max}} f(x) dx$$

где $f_x = f(x)$ – частная функция (плотность) распределения с характеристиками: m_x и D_x – математическое ожидание и дисперсия.

При такой постановке надёжность функционирования экосистемы определяется значениями вероятности $P\{x \leq [x]\}$, где $[x]$ установленная величина параметра. Задание определённой величины надёжности P^* ($P = 0 \dots 1$) даёт возможность найти величину $[x]$ из уравнения

$$\int_{x_{o.min}}^{[x]} f(x) dx = P^*.$$

Сущность этих задач состоит в том, что определяется связь (соответствие) между вероятностью и значением параметра.

Самовосстановление экосистем. Наблюдения и исследования за природными явлениями показали, что после того, как экосистема получит повреждения, её функционирование

снижается, но заем восстанавливается. В научной литературе [16] эта способность называется термином «самовосстановление» и определяется как «возврат к равновесию».

В схеме оптимизации (рис.1а, 1б) этот процесс выражается в том, что процесс деградации (функция y_2) замедляется.

Моделирование процесса самовосстановления может осуществляться на основе представления «отказа» в теории надежности.

Применительно к экологической системе «отказ» трактуется как нарушение связей между элементами системы.

Можно предположить следующую классификацию отказов:

1) по типу: а) функциональный (уничтожение связей между элементами); б) параметрический (изменение некоторых параметров, характеризующих связи);

2) по природе: а) естественные, обусловленные геокосмическими воздействиями; б) техногенные, обусловленные технической деятельностью человека;

3) по характеру: а) случайные (внезапные), обусловленные экстремальными не предусмотренными воздействиями; б) систематические (постепенные), обусловленные постоянными воздействиями небольшой интенсивностью.

В экосистемах наблюдаются внезапные (природные пожары, вулканические извержения и т.п.) и постепенные (медленные изменения климата и техногенные воздействия).

В общей теории надёжности постепенные отказы подчиняются нормальному закону:

$$P_n(t) = \Phi\left[\frac{x-m_x}{s_x}\right] = \Phi\left[\frac{x_{max}-(a_0+\gamma_{mx} \cdot t)}{\sqrt{s_a^2 + (t \cdot S_x)^2}}\right],$$

где в квадратных скобках – параметр β нормального закона, Φ – табулированная функция, x_{max} – максимально допустимое значение параметра (x), характеризующего экологические связи между элементами системы.

В законе этого вида использована линейная модель изменения параметра:

$x = a_0 + \gamma_{mx} \cdot t$, где γ_{mx} – средняя скорость процесса, t – длительность воздействий.

Внезапные отказы в теории надёжности моделируются по экспоненциальному закону: $P_b(t) = \exp[-\lambda t]$.

Таблица

Номер года	Скорость v_n , мм/Δt	Скорость v_N , шт. /Δt
1	50-80	8-10
2	70-150	20-50
3	40-70	6-8

При одновременном (суммарном) проявлении отказов надёжность системы равна $P(t) = P_n(t) \cdot P_b(t)$ в случае независимых между собой постепенных и внезапных отказов. Данных об этом в литературе нет, но, поскольку и природа различна, то можно принять гипотезу о независимости.

Срок службы экосистемы до появления отказов ($x = x_{max}$) определяется выражением $T = (x_{max} - a) / \gamma_x$, где a и γ_x – случайные аргументы линейной модели. При нормальном законе вероятностные характеристики параметра (x) определяются формулами:

– математическое ожидание: $m_x = \varphi(a_0, \gamma_{mx}) = a_0 + \gamma_{mx} \cdot t$;
 – среднеквадратичное отклонение $S_x = \sqrt{S_a^2 + (t \cdot S_x)^2}$.

Ниже приведены результаты исследования восстановления травяного покрова после экстремального воздействия в виде природного пожара. Понятие «отказ» в этом явлении представляется следующим образом.

Функциями травяного покрова являются: выделение кислорода, выделение влаги, использование в качестве потребления живыми организмами разного уровня развития и интеллекта (физиологические) и положительное психо-эмоциональное воздействие на живые организмы (ментальные). С учётом этих функций «отказ» – снижение или отсутствие физиологического или ментального положительного влияния вследствие пожара.

Ниже приведены исследование восстановления травяного покрова после пожара в 2017-2020 гг. около автотрассы Челябинск-Екатеринбург на участке около села Кременкуль. Были отмечены три участка размером 20x20 см (n=3). Измерялись величины: 1) высота травяного покрова – H_{mm} ; 2) плотность прироста – $N_{шт}$. Период измерения – май...сентябрь в течение трёх лет.

По данным измерения вычислены скорости $v_n = \Delta H / \Delta t_i$ и $v_N = \Delta N_i / \Delta t_i$, Δn_i и ΔN_i – ежегодное увеличение значений (i – условно номер года i=1,2,3); Δt_i – промежуток времени (май...сентябрь – период измерения).

На рис.2 показана схема изменения значений п.1 (высота покрова) и п.2 (плотность – количество ростков на участке 20x20 см). Результаты приведены в таблице.

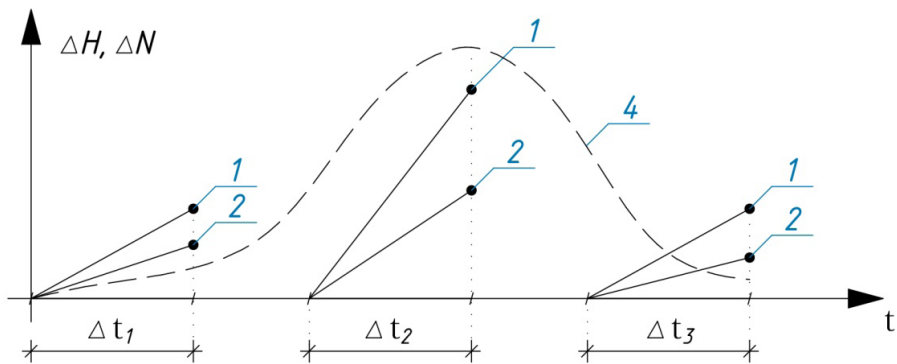


Рис.2. Восстановление травяного покрова после природного пожара: 1 – высота травы; 2 – количество ростков; 3 – функция распределения

Примечание: $t_1 = t_2 = t_3 = t_{100}$ сут.

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы:

1. Изменение скорости v_H и v_N близко соответствуют основным особенностям нормального закона распределения: в начале процесса ($i=1$) и в конце процесса ($i=3$) скорости приблизительно одинаковые и существенно меньше, чем в середине процесса ($i=2$). На рис.2 это показано линией п.4 [15,17]. Это подтверждает предположение о том, что скорости v_H и v_N – являются случайными величинами. Многократные наблюдения за этим явлением, а также постановка опытов (с искусственным пожаром) могут уточнить этот вывод с учётом изменчивости климатических условий, возникающих в разные годы.

2. Травяной покров восстановился в течение трёх лет при конкретных климатических условиях. Возможно, с изменением эти условия длительность восстановления изменится.

Данное исследование в некоторой степени подтверждает возможность анализа экологической ситуации с использованием методов теории надёжности.

Живучесть экосистем. Фундаментальной основой теории живучести являются математические теории устойчивости (бифуркаций – критических состояний) [11,19,12,18,20] и теория вероятностей [15]. При анализе конструктивных систем применяется термин «лавинообразное разрушение» как потеря устойчивости сопротивлению внешним воздействиям.

Теория живучести по идеологии равносильна теории катастроф: резкое качественное изменение объекта или явления при плавном количественном изменении его параметров. Это соответствует принципу общей философии: «переход количества в качество».

Применяя эти теории к анализу экосистем

необходимо использовать понятие «отказа связей в экологической системе». Элементы экологической системы взаимодействуют через связи (прямые и обратные) и при частичном или полном их повреждении у экосистемы снижается способность функционировать.

Живучесть рассматривается как способность функционировать (поддерживать или развивать популяции) при наличии повреждений.

Модели математического аппарата в настоящее время применяются для технических и экономических систем, например, [17]. Ниже показано применение методов анализа технических объектов к анализу экосистем. Используются примеры расчета, адаптированные к экосистеме.

Предполагается, что в экосистеме её элемента взаимодействуют через связи, характеризуемые параметрами $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, которые характеризуют взаимодействие, и значение которых может меняться в сторону ухудшения её функционирования (деградации). Возможно два представления о значениях параметра:

- детерминированное (вполне определенное), имеющее однозначную численную величину;
- стохастическое (вероятностное), имеющее неоднозначную численную величину.

Последнее ближе к природе и фактическим характеристикам исследуемых объектов, а поэтому является более предпочтительным. Из литературы известно, например, [15], что случайные (статистические) характеристики обусловлены различными законами распределения.

Например, задача определения поврежденности экологической системы. Известны следующие данные:

- экспоненциальный закон вероятностей наличия дефекта по параметру x_j экосистемы:

$$Q_j \{1\} = \exp\left[\frac{m_{[x]}}{m_x} + 0,5 \frac{S_{[x]}^2}{(m_x)^2}\right],$$

где m_x – математическое ожидание значения параметра;

$m_{[x]}$ – математическое ожидание критического значения параметра (значение, при котором связь разрушается);

$S_{[x]}^2$ – дисперсия критического значения.

Пусть отношение $m_{[x]}/m_x = 6,50$, т.е. $m_x = \frac{1}{6,5}$. Это означает, что связь повреждена частично. Отношение $S_{[x]}^2/(m_x)^2 = 1,65$. Тогда вероятность наличия повреждений $Q_j \{1\} = \exp(-6,5 + 0,5 \cdot 1,65) = 545 \cdot 10^{-5}$. Вероятность отсутствия повреждений при количестве связей $n=40$:

$$P_n = (1-Q\{1\})^n \cong \exp(nQ\{1\}) = \exp(-40 \cdot 545 \cdot 10^{-5}) = 0,78 \text{ (78\%)}$$

Оценка живучести производится с учётом оценки повреждённости. Получена приближённая формула [17] вычисления вероятности отсутствия повреждений критического значения параметра связи (функция живучести экосистемы):

$$P_n \cong \prod_{i=1}^k * \prod_{j=1}^m \exp(-nQ\{1\}_j),$$

где k – количество типов элементов экосистемы;

m – число видов повреждений (химические, пожар, взрыв, радиация и т.п.) в экологических связях;

n – количество повреждённых связей одного вида;

$Q\{1\}_j$ – вероятность того, что j – параметр вида связей становится критическим, вычисляемый при оценке повреждённости.

При длительном функционировании экосистемы значение параметра повреждения может увеличиваться: отношение $m_{[x]}/m_x$ растёт. Рост параметра характеризуется скоростью v_x , а с учётом того, что $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ является случайной величиной, зависимость от времени представляется так:

$$x(t) = x_0 + \int_0^t v_x(\tau) d\tau.$$

В отличие от скорости самовосстановле-

ния (эволюция) скорость v_x является характеристикой деградации (увеличение повреждений). При постоянной скорости: $x(t) = x_0 + v_x \cdot t$, где x_0 – начальное повреждение.

Например, задача оценки живучести системы, в которой $k=1, n=10, m=2$. Повреждения характеризуются начальными значениями $m_{x_1}=175$ ед., $m_{x_2}=150$ ед. и скоростями $= m_{v_{x_1}} = m_{v_{x_2}} = 4$ (ед./год)², а $S_{x_1}^2 = 1120$ (ед.)², $S_{x_2}^2 = 1670$ (ед.)², $S_{v_x}^2 = 3$ (ед.)².

Критическое значение повреждений как случайная величина характеризуется $m[x_1] = m[x_2] = 400$ ед. и $S_{[x_1]}^2 = S_{[x_2]}^2 = 1400$ (ед.)². Срок функционирования – 20 лет.

Изменение размера повреждений (как случайной величины) при постоянной скорости равны:

$$m_{x_1} = 175 + 4 \cdot 20 = 255 \text{ ед.};$$

$$m_{x_2} = 150 + 4 \cdot 20 = 230 \text{ ед.};$$

$$S_{x_1}^2 = 1120 + 20^2 \cdot 3 = 2320 \text{ (ед.)}^2;$$

$$S_{x_2}^2 = 1670 + 20^2 \cdot 3 = 2870 \text{ (ед.)}^2.$$

При нормальном законе вероятность повреждения одной связи двух видов до критического размера определяется по формуле при использовании таблицы:

$$Q_j \{1\} = 1 - \Phi \left[\frac{m[x]_j - m_{x_j}}{\sqrt{S^2[x]_j + S_{x_j}^2}} \right].$$

Соответствующие значения равны $Q_1\{1\} = 0,008715$ и $Q_2\{1\} = 0,00464$. Вероятностный показатель живучести $P_n = \exp(-2 \cdot 10 \cdot 0,00815) \cdot \exp(-2 \cdot 10 \cdot 0,00464) = 0,76$ (76%).

Заключение

1. Показана возможность применения вероятностных методов для оценки надёжности экосистем.

2. Получены опытные данные о процессе самовосстановления травяного покрова после пожара.

3. Для оценки надёжности экосистем необходимы специальные систематические исследования эволюции и деградации экосистем при воздействии факторов различного вида.

Литература

1. Реутская И.П. Климатизация многоквартирных жилых зданий / И.П. Реутская, К.Н.Прокопенко // «Архитектура и строительные науки». – 2011. – №12. – С. 13-16.
2. Дмитриев В.В. Экологическое нормирование и устойчивость систем / В.В. Дмитриев, Г.Т. Фрумин. - М.: «СПб», 2004. – 294 с.
3. Одум Ю. Экология. В 2-х томах. / Перевод с английского Ю.М. Фродова под редакцией академика В.Е.Соколова М.: Мир, 1986. – Т.1 – 328 с.
4. Одум Ю. Экология. В 2-х томах / Перевод с английского Ю.М. Фродова под редакцией академика В.Е.Соколова М.: Мир, 1986. – Т.2 – 376 с.
5. Микулина Е.М., Благовидова Н.Г. учебник для студентов. – М.: изд.центр «Академия», 2013. – 160 с.
6. Благовидова Н.Г. Методические указания по выполнению практических работ в рамках дисциплины «Архитектурная экология». – М.: МИИГАиК, 2016. – 16 с.

7. Никонова Е.Р. Архитектурная экология: уч.пособие для студентов подготовки 07.03.01 «Архитектура» / Е.Р. Никонова. – Пенза: ПГУАС, 2016. – 120 с.
8. Керн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. - М.: Наука, 1970. – С. 575-576.
9. Реклейтис Г. Оптимизация в технике / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Регсдел. – М.: Мир, 1986. – 400 с.
10. Арнольд В.И. Теория катастроф / Рец. А.В. Чернавский. 3-е доп.изд. - М.: Наука, 1990. – 128 с. – JSBM 5-02-014271- 9.
11. Том Р. Структурная устойчивость и морфогенез / Р. Том. – М.: «Логос», 2002. – 288 с.
12. Sanns Werner. Catastrophe Theory with Matematica: A Geometric Approach. – Germany: DAV, 2000. – 175 p.
13. Крюковский А.С. Теория катастроф и её приложение к описанию фокусировки, дифракции и распространения волновых полей / А.С. Крюковский, Д.С. Лукин, Е.А. Палкин, Д.В. Растягаев // Российский новый университет, труды МФТИ, 2009. – Т.1, – №2. – с.54-71.
14. Иосс Ж. Элементарная теория устойчивости и бифуркаций / Ж.Носс, Д.Джозеф. – М.: Мир, 1983. – 301 с.
15. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. - М.: Академия, 2005. – 450 с.
16. Реутская Н. Принципы и методы проектирования эколого-ориентированной и энергосберегающей архитектурной среды / И.Реутская, А.А. Мухаммед / Архитектура и дизайн. Архитектура и строительные науки, №1, 2 (20,21), 2015 (05.12.2016.07.03).
17. Кудзис А.П. Оценка надежности железобетонных конструкций / А.П. Кудзис. – Вильнюс: «Мокслас», 1985. – 156 с.
18. Фомичёв А.В. Элементы теории бифуркаций динамических систем. Часть 1: учебно-методическое пособие по курсу Аналитическая механика. - М.: МФТИ, 2019. – 42 с.
19. Арнольд В.И. Теория катастроф / В.И. Арнольд. – М.: URSS, 2016. – 134 с.
20. Мюзер Ю. Динамические системы – прошлое и настоящее: Пленарная лекция на международном конгрессе математиков. – Берлин: 1998 // Нелинейная динамика, 2009. – Т.5, №1. – С. 13-32.

References

1. Reutskaya I.P. Climatization of multi-apartment residential buildings / I.P. Reutskaya, K.N. Prokopenko // "Architecture and Construction Sciences, 2011. – №12. – P. 13-16.
2. Dmitriev V.V. Ecological standardization and sustainability of systems / V.V. Dmitriev, G.T. Frumin. – М.: "SPb", 2004. – 294 p.
3. Odum Y. Ecology. In 2 volumes. / Translation from English Y.M. Frodov, edited by Academician V.E. Sokolov Moscow: Mir, 1986. Vol.1. – 328 p.
4. Odum Y. Ecology. In 2 volumes / Translation from English Y.M. Frodov, edited by Academician V.E. Sokolov Moscow: Mir, 1986. Vol.2. – 376 p.
5. Mikulina E.M., Blagovidova N.G. textbook for students. – М.: Publishing center "Academy", 2013. – 160 p.
6. Blagovidova N.G. Methodological guidelines for practical work in the discipline of "Architectural ecology". – Moscow: MIIGAiK, 2016. – 16 p.
7. Nikonova E.R. Architectural ecology: tutorial for students of 07.03.01 "Architecture" / E.R. Nikonova. – Penza: PSUAS, 2016. – 120 p.
8. Kern G. Handbook of Mathematics for Scientists and Engineers / G. Korn, T. Korn. – Moscow: Nauka, 1970. – P. 575–576.
9. Reckleitis G. Optimization in Engineering / G. Reckleitis, A. Reyvindran, K. Regsdel. – Moscow: Mir, 1986. – 400 p.
10. Arnold V.I. Theory of Catastrophes / Rev. A.V. Chernavskiy. Rev. – Moscow: Nauka, 1990. – 128 p. – JSBM 5-02-014271-9.
11. Tom R. Structural stability and morphogenesis / R. Tom. – Moscow: Logos, 2002. – 288 p.
12. Sanns Werner. Catastrophe Theory with Matematica: A Geometric Approach. – Germany: DAV, 2000. – 175 p.
13. Kryukovsky A.S. The catastrophe theory and its application to the description of

- focusing, diffraction and propagation of wave fields / A.S. Kryukovsky, D.S. Lukin, E.A. Palkin, and D.V. Rastiagaev // Russian New University (State Univ.), Proceedings of MIPT. – 2009. – Vol.1, №2. – P. 54-71.
14. Ioss J. Elementary theory of stability and bifurcations / J. Noss, D. Joseph. – Moscow: Mir, 1983. – 301 p.
15. Ventzel E.S. Probability Theory / E.S. Ventzel. – М.: Academia, 2005. – 450 p.
16. Reutskaya N. Principles and methods of design of ecologically-oriented and energy-saving architectural environment / I. Reutskaya, A.A. Muhammed / Architecture and Design. Architecture and Construction Sciences, №1, 2 (20,21). – 2015 (05.12.2016.07.03).
17. Kudzis A.P. Estimation of Reliability of Reinforced Concrete Structures / A.P. Kudzis. – Vilnius: Mokslas, 1985. – 156 p.
18. Fomichev A.V. Elements of bifurcation theory of dynamic systems. Part 1: tutorial for the course Analytical Mechanics. – М.: MFTI, 2019. – 42 p.
19. Arnold V.I. Theory of catastrophes / V.I. Arnold. – М.: URSS, 2016. – 134 p.
20. Müser J. Dynamic systems - past and present: Plenary lecture at the international congress of mathematicians. - Berlin: 1998 // Nonlinear Dynamics, 2009. – Vol.5, №1. – P. 13-32.

Ивашенко Ю.А.,

доктор технических наук, профессор кафедры архитектуры, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия. E-mail: ivashenkoya@susu.ru

Ivashenko Yu.A.,

doctor of science (technical), professor of the department of Architecture, South Urals State University, c. Chelyabinsk, Russia. E-mail: ivashenkoya@susu.ru

Новикова Н.В.,

старший преподаватель кафедры архитектуры, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия. E-mail: pesochnaya_buhta@mail.ru

Novikova N.V.,

head teacher, Department of Architecture, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia. Email: pesochnaya_buhta@mail.ru

Поступила в редакцию 16.05.2022