



УДК 519.8

**ДИНАМИЧЕСКИЕ ОКРЕСТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ИЗНОСА
КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ***И.А. Седых, sedykh-irina@yandex.ru**А.М. Сметанникова, n.smetannickowa@yandex.ru*

Липецкий государственный технический университет (ЛГТУ), г. Липецк

Окрестностные модели обобщают дискретные модели и используются для представления сложных пространственно-распределенных объектов и процессов, также окрестностные модели являются перспективным направлением для моделирования различных производственных систем, таких как сталеплавильное производство, цементное производство, процесс очистки сточных вод, процесс износа элементов конструкций мостового сооружения, автотранспортных систем и другие. В данной работе окрестностные модели применяются для моделирования процесса износа конструкций здания. Построена линейная динамическая дискретная окрестностная модель для исследования рассматриваемого процесса износа конструкций здания. Показан граф данной окрестностной модели, где узлами являются основные конструктивные элементы здания. Проведена параметрическая идентификация окрестностной модели процесса износа конструкций здания, осуществлена проверка адекватности полученной модели.

Ключевые слова: линейная окрестностная модель, износ конструкций здания, идентификация, относительная ошибка.

**NEIGHBORHOOD DYNAMIC MODEL THE PROCESS OF DETERIORA-
TION OF BUILDING STRUCTURES***I.A. Sedykh, A.M. Smetannikova*

Lipetsk State Technical University (LSTU), Lipetsk

Neighborhood models generalize discrete models and are used to represent complex spatially distributed objects and processes, and neighborhood models are a promising direction for modeling various production systems, such as steelmaking, cement production, wastewater treatment process, the process of wear of structural elements of bridge structures, road transport systems and others. In this paper, the neighborhood models are used to simulate the process of wear of building structures. A linear dynamic discrete neighborhood model is constructed to study the process of wear of building structures. The graph of this neighborhood model is shown, where the nodes are the main structural elements of the building. The parametric identification of the neighborhood model of the building structures wear process is carried out, the adequacy of the obtained model is checked.

Keywords: linear neighborhood model, building structure wear, identification, relative error.

Введение

В процессе эксплуатации здания и сооружения подвергаются воздействию агрессивных сред, в результате этих воздействий происходит изменение первоначальных свойств материалов конструкций здания.

Износ – это изменение размеров, формы, массы технического объекта или состояния его поверхности вследствие остаточной деформации от постоянно действующих нагрузок, либо из-за разрушений поверхностного слоя.

Вследствие износа наступает разрушение материала конструкций. Различают три случая разрушения: 1) большие статические или динамические нагрузки вызывают значительные, превышающие допустимые напряжения в материале; 2) совместное воздействие механических нагрузок и факторов окружающей среды, каждый из которых активизирует общее воздействие; 3) значительная агрессивность окружающей среды при малых напряжениях от статических или динамических нагрузок приводит к разрушению. Наиболее значимы в разрушении материала факторы окружающей среды. Механические нагрузки приводят к активизации процессов, связанных с воздействием окружающей среды.



В условиях эксплуатации сооружений обычно наблюдаются второй и третий случаи разрушения конструкций.

Актуальность

Разработка математической модели износа конструкций здания является актуальной, так как при эксплуатации зданий и сооружений важно оценить и спрогнозировать характер и опасность повреждений. К причинам, вызывающим повреждения, а затем и разрушения зданий, относят воздействия внешних природных и искусственных факторов [1]; воздействия внутренних факторов, которые обусловлены технологическим процессом; проявление дефектов, допущенных при проектировании, возведении здания; а также недостатки и нарушения правил эксплуатации зданий, сооружений.

Постановка задачи и теоретическая часть

Смоделируем процесс износа конструкций здания с помощью дискретных динамических окрестностных моделей.

Окрестностный подход используется для моделирования сложных систем. В работе рассматриваются дискретные динамические окрестностные модели, состояния которых изменяются в дискретном времени.

Окрестностные модели [2-3] можно представить в виде ориентированного графа. По дугам этого графа от узла к узлу передаются данные, которые представляют собой векторные значения [4].

Практическая значимость

В статье предлагается использование дискретных динамических [5-7] окрестностных моделей. Разработанные модели позволят прогнозировать износ конструкций здания без дополнительных затрат на проведение замеров и расчетов при выезде на объект.

Выделим пять крупных узлов процесса a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 , представленных на рис. 1 [8-9].

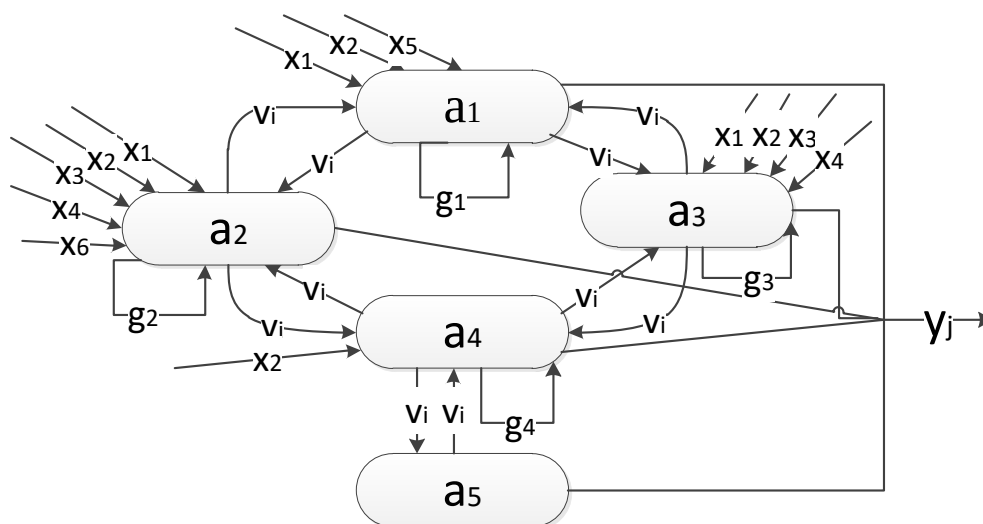


Рис. 1 - Граф окрестностной модели процесса износа конструкций здания

На рис. 1 показана зависимость состояний и выходов динамической окрестностной модели в каждом узле в следующий момент времени от состояний и входов в текущий момент времени.



Узлы окрестностной модели $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$, где a_1 – узел «фундамент», a_2 – узел «перегородки», a_3 – узел «стены несущие», a_4 – узел «перекрытия», a_5 – узел «крыша».

На рис. 1 изображены состояния, входы, выходы узлов. Входами для каждого узла являются: v_1 – количество лет после ремонта, v_2 – просадка грунта под фундаментом, v_3 – просадка грунта под отмошкой.

Рассмотрим состояния: x_1 – износ лестницы, x_2 – износ проемов окон, дверей, x_3 – износ внутренней отделки, x_4 – износ наружной отделки, x_5 – износ пола, x_6 – износ инженерных систем.

Выходы представляют собой износы каждого узла: y_1 – износ узла a_1 , y_2 – износ узла a_2 , y_3 – износ узла a_3 , y_4 – износ узла a_4 , y_5 – износ узла a_5 , причем $g_1 = \{x_1, x_2, x_5\}$, $g_2 = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_6\}$, $g_3 = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$, $g_4 = \{x_3\}$.

Состояния каждого i -го промежуточного узла вычисляются по следующим формулам:

$$x_{ij}(t+1) = \varphi_{ij}(v_1(t), \dots, v_3(t), x_{ij}(t)), \quad (1)$$

где φ_{ij} – функции пересчета состояний; $i = 1, \dots, 4$; $j = 1, \dots, 6$; $v_i(t)$ – входы в момент времени t ; $x_{ij}(t)$ – состояния в момент времени t ; $x_{ij}(t+1)$ – состояния в момент времени $t+1$.

Следует заметить, что в каждом узле присутствует свой набор состояний, показанный на рис. 1.

Выходы каждого i -го промежуточного узла вычисляются аналогично состояниям:

$$\begin{cases} y_1(t) = \Psi_1(v_1(t), \dots, v_3(t), x_{11}(t), x_{12}(t), x_{15}(t)); \\ y_2(t) = \Psi_2(v_1(t), \dots, v_3(t), x_{21}(t), x_{22}(t), x_{23}(t), x_{24}(t), x_{26}(t)); \\ y_3(t) = \Psi_3(v_1(t), \dots, v_3(t), x_{31}(t), x_{32}(t), x_{33}(t), x_{34}(t)); \\ y_4(t) = \Psi_4(v_1(t), \dots, v_3(t), x_{42}(t)); \\ y_5(t) = \Psi_5(v_1(t), \dots, v_3(t)). \end{cases} \quad (2)$$

Рассмотрим линейную динамическую окрестностную модель. В линейном случае формулы (1) и (2) принимают следующий вид:

$$\begin{cases} x_{i1}(t+1) = a_{10} + a_{11} \cdot v_1(t) + \dots + a_{13} \cdot v_3(t) + b_{11} \cdot x_{i1}(t); \\ x_{i2}(t+1) = a_{20} + a_{21} \cdot v_1(t) + \dots + a_{23} \cdot v_3(t) + b_{21} \cdot x_{i2}(t); \\ x_{i3}(t+1) = a_{30} + a_{31} \cdot v_1(t) + \dots + a_{33} \cdot v_3(t) + b_{31} \cdot x_{i3}(t); \\ \dots \\ x_{i6}(t+1) = a_{60} + a_{61} \cdot v_1(t) + \dots + a_{63} \cdot v_3(t) + b_{61} \cdot x_{i6}(t); \\ y_1(t) = c_{10} + c_{11} \cdot v_1(t) + \dots + c_{13} \cdot v_3(t) + d_{11} \cdot x_{11}(t) + \dots + d_{13} \cdot x_{15}(t); \\ y_2(t) = c_{20} + c_{21} \cdot v_1(t) + \dots + c_{23} \cdot v_3(t) + d_{21} \cdot x_{21}(t) + \dots + d_{25} \cdot x_{26}(t); \\ y_3(t) = c_{30} + c_{31} \cdot v_1(t) + \dots + c_{33} \cdot v_3(t) + d_{31} \cdot x_{31}(t) + \dots + d_{34} \cdot x_{34}(t); \\ y_4(t) = c_{40} + c_{41} \cdot v_1(t) + \dots + c_{43} \cdot v_3(t) + d_{41} \cdot x_{42}(t); \\ y_5(t) = c_{50} + c_{51} \cdot v_1(t) + \dots + c_{53} \cdot v_3(t). \end{cases}$$

Результаты экспериментальных исследований



Проведена параметрическая идентификация линейной динамической окрестностной модели на обучающей выборке.

Далее покажем результаты идентификации окрестностной модели процесса износа конструкций здания для первого узла системы:

$$\begin{cases} x_{11}(t+1) = 25,652 + 1,191v_1(t) - 0,139v_2(t) + 0,043v_3(t) + 0,110x_{11}(t); \\ x_{12}(t+1) = 23,218 - 0,890v_1(t) - 0,111v_2(t) + 0,034v_3(t) + 0,748x_{12}(t); \\ x_{15}(t+1) = 45,271 + 0,465v_1(t) - 0,171v_2(t) - 0,046v_3(t) + 0,431x_{15}(t); \\ y_1(t) = -77,048 - 1,874v_1(t) - 0,026v_2(t) + 0,227v_3(t) - 0,082x_{11}(t) + \\ + 1,013x_{12}(t) + 0,594x_{15}(t). \end{cases}$$

На рис. 2 проиллюстрируем исходные и модельные значения $x_{ij}(t+1)$ для первого состояния первого узла процесса износа конструкций здания.

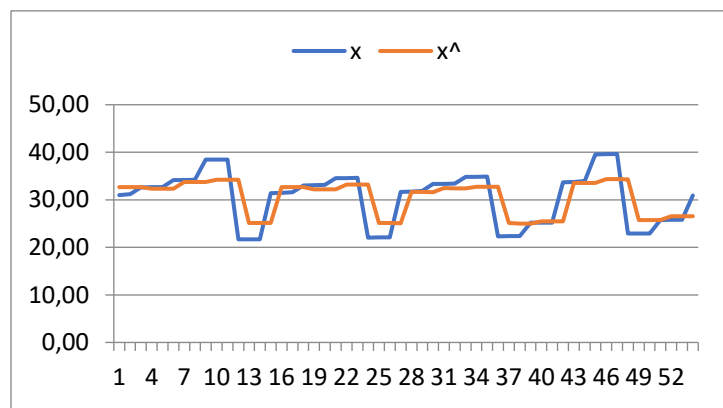


Рис. 2 - График исходных и модельных значений для первого состояния первого узла

На рис. 2 используются следующие обозначения: $x = x_{ij}(t+1)$; $\hat{x} = \hat{x}_{ij}(t+1)$.

Найдем среднюю относительную ошибку идентификации, которая вычисляется по формуле:

$$A = \frac{1}{5N} \left(\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{m_i} \sum_{k=1}^N \left| \frac{x_{ijk}(t+1) - \hat{x}_{ijk}(t+1)}{\max_{i,j} x_k(t+1)} \right| + \sum_{i=1}^5 \sum_{k=1}^N \left| \frac{y_{ik}(t) - \hat{y}_{ik}(t)}{\max_i y_k(t)} \right| \right) \cdot 100\%,$$

где N – объем выборки; $i=1,...,5$; $j=1,...,m_i$; $k=1,...,N$; $x_{ijk}(t+1)$ – исходные данные системы; $\hat{x}_{ijk}(t+1)$ – модельные данные.

Заключение

По результатам моделирования была получена средняя относительная ошибка идентификации $A=6,26\%$, что свидетельствует об адекватности построенной модели. В дальнейшем планируется разработка билинейной и квадратичной окрестных моделей процесса износа конструкций здания.

Список цитируемой литературы

1. Юрьев А.В. Моральный износ зданий // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Инновационная наука». – 2017. – Т.1. – Вып. 2. – С. 106-108.
2. Седых И.А., Сметанникова А.М. Применение пакета MATLAB для параметрической идентификации окрестностных моделей на основе генетических алгоритмов // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – Воронеж, 2017. – С. 24–29.
3. Седых И.А. Управление динамическими окрестностными моделями с переменными окрестностями // Системы управления и информационные технологии. – 2018. – №1(71). – С. 18–23.



4. Седых И.А. Параметрическая идентификация линейной динамической окрестностной модели // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Инновационная наука: прошлое, настоящее, будущее». – Уфа: АЭТЕРНА, 2016. – С.12-19.
5. Шмырин А.М., Седых И.А., Щербаков А.П. Общие билинейные дискретные модели // Вестник Воронежского государственного технического университета. – Воронеж, 2014. – Т. 10. – Вып. 3 - 1. – С. 44-49.
6. Шмырин А.М., Седых И.А., Сметанникова А.М., Никифорова Е.Ю. Окрестностное моделирование процесса очистки сточных вод // Вестник ТГУ. Серия Естественные и технические науки. – Тамбов, 2017. – Т. 22. – Вып. 3. – С. 596-604.
7. Седых И.А., Сметанникова А.М. Проверка устойчивости линейных динамических окрестностных моделей процесса очистки сточных вод // Материалы областного профильного семинара «Школа молодых ученых» по проблемам технических наук 17 ноября 2017 г. – Липецк, 2017. – С. 125-129.
8. Седых И.А., Сметанникова А.М. Критерий Гурвица для проверки устойчивости линейных динамических окрестностных моделей процесса очистки сточных вод // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2018. – Т.7. – Вып. 1 (41). – С. 67-71.
9. Седых И.А., Сметанникова А.М. Параметрическая идентификация окрестностной модели с помощью генетического алгоритма и псевдообращения // Интерактивная наука. – 2017. – Т. 4. – Вып. 14. – С. 113-116.

© И.А. Седых, А.М. Сметанникова, 2019