**ИДЕНТИФИКАЦИЯ УЯЗВИМОСТИ СОСТОЯНИЙ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ
ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНОЙ СПЛАЙН-ИНТЕРПОЛЯЦИИ
ИНТЕНСИВНОСТИ ИНТЕРФЕЙСНОГО ТРАФИКА****А.В. Скатков, А.А. Брюховецкий, И.А. Скатков**

ФГАОУ «Севастопольский государственный университет»,
РФ, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
E-mail: a.alexir@mail.ru

Рассматривается метод применения сплайн-интерполяции при решении задач идентификации аномальных состояний (А-событий) в информационных потоках данных и классификации указанных событий при контроле природно-технических объектов (ПТО). Подход базируется на основе представления интенсивности интерфейсного трафика кусочно-линейными сплайнами и реализован с использованием моделирующего стенда. На первом этапе генерируются и формируются описания в виде линейных сплайнов, представляющих состояния контролируемых объектов, одно из которых подвержено внешнему возмущению. На втором этапе сформированные описания сплайнов используются для оценки расхождений между исследуемыми распределениями и влияния ряда факторов на достоверность принимаемых решений с использованием методов вероятностного моделирования в среде Anylogic.

Ключевые слова: сплайн-интерполяция, идентификация А-событий, вероятностная модель, статистические оценки, непараметрический критерий.

Поступила в редакцию: 07.10.2021. После доработки: 19.11.2021

Введение. Задачи идентификации уязвимости и критичности объектов возникают в различных предметных областях жизнедеятельности человека, включая, городскую инфраструктуру, окружающую среду, транспорт, водопользование, обеспечение безопасности и т.д. В современных условиях развития цифровых технологий интенсивность обмена потоками данных усиливается, а следовательно, этот факт следует учитывать при принятии решений по оценке состояния критических объектов. В связи с этим возникает необходимость разработки методов идентификации уязвимости состояний объектов на основе исследования интенсивности трафика информационных потоков. При решении задач идентификации критичности объектов к системам мониторинга и контроля изменения состояния объектов природно-технических систем предъявляются повышенные требования при оценке их динамики [1–3]. Поэтому использование средств оперативного мониторинга в сочетании с имитационным моделированием позволяет прогнозировать динамику изменения состояния экосистемы и предупреждать о возможных аномалиях,

предотвращая тем самым возникновение критических ситуаций.

В настоящее время процесс идентификации уязвимости и критичности объектов данных мониторинга окружающей среды является трудно формализуемой, трудоемкой задачей.

В практических задачах кривые и поверхности, описывающие характер изменения некоторого контролируемого параметра во времени, часто имеют весьма сложную форму, поэтому их аппроксимируют набором достаточно простых гладких фрагментов – сплайнов, описываемых при помощи элементарных функций одной или двух переменных. Сплайн представляет собой кусочно-заданную функцию, каждый фрагмент которой является некоторой функцией одного и того же вида и задан на своем подмножестве значений аргумента. В зависимости от типа фрагмента различают и соответствующие классы сплайнов [4, 5].

- *Алгебраические сплайны* – фрагменты являются алгебраическими полиномами. Обычно используются полиномы не выше третьей степени, поскольку увеличение степени полинома приводит к быстрому росту вычислительных ре-

сурсов. Достоинствами таких сплайнов являются простота построения и анализа.

- *Трансцендентные сплайны* – фрагменты являются трансцендентными полиномами. К таким сплайнам относятся экспоненциальные, логарифмические, тригонометрические и т.п. Данные сплайны намного лучше описывают реальные физические процессы в динамических системах по сравнению с алгебраическими. Недостатком таких сплайнов является высокая трудоемкость расчетов.

- К *специальным сплайнам* относятся такие специфические сплайны, у которых фрагменты могут быть, например, рациональными функциями.

Сплайны используются не только для описания физических процессов и решения многоточечных краевых задач сеточными методами, но и используются при решении ряда задач вычислительной математики: приближенного представления функции; приближенного восстановления функции с некоторой точностью на данном интервале; сглаживания функции, которая в контрольных точках незначительно отличается от значений исходной функции; приближенного вычисления по функции функционалов и операторов (поиск значения интеграла от функции в заданной системе точек или поиск производной от заданной функции) [6, 7].

Предлагаемый метод обнаружения аномальных данных рассматривается на примере распознавания изменения значений информационных состояний ПТО и природно-технических систем. Подход базируется на основе моделирующего стенда, разработанного для оценки А-событий в потоках данных, распределенных по заданному закону. На первом этапе генерируются и формируются описания в виде линейных сплайнов, представляющих состояния контролируемых объектов, одно из которых подвержено внешнему возмущению, вызывающему изменения информационного состояния объекта. На втором этапе определяются оценки расхождения распределений с использованием непараметрических ранговых критериев.

Цель предлагаемого подхода – повышение достоверности классификации

информационных состояний ПТО и природно-технических систем (ПТС) и исследование влияния следующих основных параметров на принятие решений:

- достоверность обнаружения изменений состояний ПТО и ПТС,
- величина расхождения – статистическая оценка (коэффициент Спирмена) между двумя распределениями случайной величины,
- параметры непрерывных функций интерполирующих процесс изменения контролируемого параметра,
- пороговые значения критических областей при оценке гипотез принятия решений.

В качестве контролируемого параметра предлагается оценивать динамику изменения углов наклона сплайна к оси ОХ, которая соответствует изменению интенсивности входного трафика.

Таким образом, применение предложенного подхода позволит оптимизировать процессы обработки, анализа данных, повысить достоверность и качество принимаемых решений.

Постановка задачи. В общем случае интерполяция алгебраическими многочленами функции $f(x)$ на интервале $[a, b]$ – это задача построения многочлена $S^m(x)$, принимающего в узлах интерполяции $\{a = x_0 < x_1 < \dots < x_n = b, n \geq m\}$ значения $\{f_i = f(x_i), i = \overline{0, n}\}$:

$$S^m(x) = \sum_{i=0}^n \alpha_i \cdot P_i^m(x) + R(x),$$

где α_i – коэффициенты, зависящие от значений исходной функции в контрольных точках, $P_i^m(x)$ – базисные функции сплайна, являющиеся алгебраическими полиномами степени m , $R(x)$ – остаточный член.

Соответственно, условие интерполяции выглядит следующим образом

$$S^m(x_i) = f_i.$$

В данном случае на каждом интервале $x \in [x_i, x_{i+1}]$ длиной h_i расчетной области $[a, b]$ строится локальный алгебраический полином $P_i^m(x)$ заданной степени $m \leq n$, который на границах интервала равен значениям f_i и f_{i+1} соответственно (условие интерполяции), а вне границ своего интервала данный полином не существует:

$$P_i^m(x) = \begin{cases} 0, & x \notin [x_i, x_{i+1}] \\ f_i, & x = x_i \\ f_{i+1}, & x = x_{i+1} \\ \sum_{k=0}^m c_{i,k} \cdot x^k, & x \in [x_i, x_{i+1}]. \end{cases}$$

Объединение построенных таким образом полиномов $P_i^m(x)$ и дает требуемый сплайн $S^m(x)$:

$$S^m(x) = \sum_{i=0}^{n-1} P_i^m(x).$$

При этом условие непрерывности выглядит как $P_i^m(x_{i+1}) = P_{i+1}^m(x_{i+1})$, а условие гладкости полученного сплайна заключается в требовании равенства производных слева и справа для каждой внутренней точки.

Выражение для сплайна $S^1(x)$ на i -том промежутке:

$$S^1(x) = y_i(x_{i+1} - x)/h_i + y_{i+1}(x - x_i)/h_i.$$

Остаточный член: $R^1(x) = S^1(x) - f(x)$.

Оценка остаточного члена зависит от дифференцируемых свойств функции $f(x)$. Качество интерполяции может быть оценено величиной колебаний на $[x_i, x_{i+1}]$:

$$\omega_i(f) = \max_{x_1, x_2 \in [x_i, x_{i+1}]} |y(x_1) - y(x_2)|$$

Если функция $f(x)$ определена на $[a, b]$ то за оценку принимают:

$$\omega(f) = \max_i \omega_i(f).$$

Достоинствами линейного сплайна являются простота и отсутствие колебаний, возникающих при интерполяции полиномами высоких степеней. Данный эффект зависит не только от свойств самой интерполируемой функции, но и от правильного выбора последовательности узлов интерполяции (согласно аппроксимационной теореме Вейерштрасса [8], для любой непрерывной на отрезке функции можно подобрать последовательность полиномов, равномерно к ней сходящихся). Часто в качестве узлов интерполяции используют узлы Чебышева, погрешность интерполяции по которым равномерно убывает для любой абсолютно непрерывной функции. Например, для функции при использовании равномерной интерполяционной сетки возникает эффект быстрого роста колебаний сплайн-функции. Использование

же узлов Чебышева помогает избежать нежелательных колебаний [9].

Задачи исследования применимости непараметрических статистических критериев. Процесс мониторинга в условиях многомерных случайных потоков (стохастического сетевого трафика) обладает следующими особенностями:

- дефицит информации – сложность получения статистических данных о контролируемом процессе;
- сложность построения систем полномасштабного мониторинга.

Разрабатываемые методы обладают низкой трудоемкостью и могут использоваться в условиях дефицита априорной информации о внешних воздействиях на систему, малых выборках. Для исследования эффективности предлагаемых методов и проверки критериев оценки рисков ошибочных решений при принятии гипотез предлагается моделирующий стенд. Программа стендовых испытаний представляет собой совокупность экспериментов, позволяющих получить оценки рисков при различных сочетаниях входных параметров. Классификация текущего состояния производится в предположении, что состояние объекта может быть гомоскедастичным (процесс не подвержен внешнему воздействию) или гетероскедастичным (имеет место А-событие – внешнее воздействие, G – эффект).

Гипотеза об идентификации G – эффекта подлежит статистической проверке. В этом случае имеют место риски появления ошибок первого и второго рода – $P(H1/H0)$ и $P(H0/H1)$. Заключение об истинности той или иной гипотезы делается на основании известного объема выборки n и заданного уровня достоверности p . В данных условиях ставится задача выделения зон уверенного и неуверенного распознавания наличия возмущающего воздействия на случайные выборки.

Схема контроля состояния интерфейсного трафика в узле компьютерной сети. Распределенная вычислительная сеть содержит множество узлов, модель каждого из которых будем рассматривать как модель системы массового обслуживания (СМО) типа G1/G/K/L. Обозначим: X, Y, Q, ξ – число-

вые характеристики (вектора) многомерного входного, выходного трафика, потока потерь и случайных возмущений (например, интенсивность поступления/обслуживания заявок, процент потерянных заявок, время обработки заявок, длина очереди и т.д.).

На вход узла поступает многомерный трафик X и поток ξ с интенсивностью в i -ом канале λ_i , который можно идентифицировать на основе известных методов. Может быть определена и оценена интенсивность μ_i в i -ом канале обработки заявок в узле. Для выходного

параметра узла i -го канала строятся уравнения регрессии вида

$$y_i = f_i(x_1, \dots, x_n) + \varepsilon_1,$$
$$q_i = \phi_i(x_1, \dots, x_n) + \varepsilon_2.$$

В общем случае f_i и ϕ_i – нелинейны (с помощью приближенных методов может быть выполнена их линейаризация), ε_1 и ε_2 – нормально распределенные случайные величины с математическим ожиданием $m(\varepsilon_1) = m(\varepsilon_2) = 0$.

Схема контроля трафика в выделенном узле с целью определения G -эффекта представлена на рис. 1.

Рис. 1. Схема контроля интерфейсного трафика в выделенном узле с целью определения G -эффекта

Fig. 1. Interface traffic control scheme in a dedicated node in order to determine the G -effect

При необходимости осуществляется настройка в режиме обучения. Целью настройки является адаптация параметров модели для выбора соотношения объема обучающей выборки, доверительной вероятности, значений ошибок первого и второго рода, периодов модификации правил классификации и др. Обнаружение G -эффекта осуществляется в процессе оценки изменений состояния сетевого трафика по значениям остатков регрессионной модели. Конкретный вид уравнения регрессии можно определить в детальной постановке задачи для каждого отдельного случая. В

простейшем случае можно перейти к уравнениям авторегрессии. В результате принимается или отклоняется выдвинутая гипотеза о наличии G -эффекта и проводится оценка риска принятия гипотезы.

С целью оценки эффективности распознавания G -эффекта предлагается критерий Спирмена, хотя возможно использовать и другие тесты (Голдфелда-Квандта, Глейзера и другие).

Схема проведения типового эксперимента включает совокупность модулей по настройке параметров (текущее состояние трафика – ТС, зоны уверенного/неуверенного распознавания состо-

яние трафика – ТС, зоны уверенного/неуверенного распознавания G -эффекта – Sj , уровень достоверности – p , объем выборки – n , критерий распознавания – Ci , отношение λ/μ др.) с це-

лью их адаптации к текущей интенсивности трафика. Схема проведения экспериментов по обнаружению А-события приведена на рис. 2.

Рис. 2. Схема проведения экспериментов по обнаружению А-события
Fig. 2. Scheme of experiments to detect the A-event

Процесс обнаружения А-события в потоках данных многоэтапный и включает в себя:

- задание закона распределения входных интенсивностей;
- задание интервалов изменения входных интенсивностей;
- построение сплайнов;
- формирование контролируемого параметра – угол наклона γ сплайна к оси абсцисс;
- сбор статистических данных о динамике изменения дисперсий остатков;
- принятие решения о наличии G -эффекта на основе теста Спирмена.

Оценка динамики изменения углов наклона сплайна к оси ОХ соответствует изменению интенсивности входного трафика.

Реализованы два основных режима: идентификации уязвимостей и тестовый имитационного моделирования. Второй режим предназначен для настройки и обучения эксперта достоверному принятию решений при классификации событий, возникающих в потоках данных. Кроме того во втором режиме определяются области устойчиво-

го/неустойчивого распознавания для заданных критериев и пороговых значениях, области принятия гипотез.

Результаты экспериментов по распознаванию А-события в узле КС на примере СМО.

Задано: СМО типа $G1/G/1/L$. На вход поступают потоки заявок $M(\lambda)$, $\sigma(\lambda)$, $M(\mu)$, $\sigma(\mu)$, распределенных по заданному закону, n – объем выборок, τ – момент времени формирования выборки. В качестве контролируемого параметра используется угол наклона γ сплайна к оси абсцисс.

Цель: Определить условия возникновения G -эффекта – наблюдаемое значение Стьюдента $t(n-2)$, при заданных $M(\lambda)$, $\sigma(\lambda)$, $M(\mu)$, $\sigma(\mu)$, τ для заданного уровня значимости p . Функции распределения – нормальные.

Для решения задачи оценки системных характеристик объекта, подвергшегося воздействию А-событий, использовался метод непараметрической статистики на основе вычисления коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Проведены эксперименты и получены результаты в среде имитационного моделирования *Anylogic*, которые подтверждают факты наличия А-событий в мо-

делируемом трафике, в который привно-
сится измененный входной поток заявок
и/или измененная интенсивность обра-
ботки заявок.

В соответствии с поставленными за-
дачами исследовались динамика измене-
ния углов наклона сплайнов к оси ОХ и
наблюдаемое значение Стьюдента для

различных объемов выборки ($n = 20, 30, 40, 50, 60$), значений $\sigma(\mu)$ и моментов
времени ($\tau = 31, 41, 51, 61$). В частности,
на рис. 3 при заданных значениях: $M(\lambda) = 0.7, \sigma(\lambda) = 0.083, M(\mu) = 0.8, \sigma(\mu) = 0.4, \tau = 31, n = 60$ показана динамика измене-
ния углов наклона сплайнов к оси ОХ.

Рис. 3. Динамика изменения углов наклона сплайнов к оси ОХ
Fig. 3. Dynamics of changes in the angles of inclination of splines to the OX axis

Для уровня значимости p и объема выборки – n анализировалось неравенство, используемое в критерии Спирмена принятия гипотезы о наличии G -эффекта:

$$|t_{набл}| > t_{st}(n-2, p)$$

где t_{st} – статистика Стьюдента. Например, для уровня значимости $p=0.001$ и $n=30$, $t_{st(критическое)}=3.67$. График изменения наблюдаемых значений Стьюдента для указанных выше условий (величина возмущения $\sigma(\mu) = 0.4$) в зависимости от объемов выборки представлен на рис. 4:

Рис. 4. Динамика изменения наблюдаемых значений $t(n-2)$ при различных n
Fig. 4. The dynamics of changes in the observed values of $t(n-2)$ for different n

В ходе экспериментов определены зоны
распознавания S_j А-событий при вели-
чине возмущения $\sigma(\mu) = 0,4$ и указанных
условиях. Так для заданной доверитель-

ной вероятности $p=0.001$ S_1 – устойчи-
вое распознавание А-событий наблюда-
ется при $n > 40$, а при $p=0.01$ – соот-
ветственно при $n > 30$. Для объема вы-

борки $n < 20$ распознавание А-событий при заданных p не наблюдается. Аналогичные эксперименты проводились при варьировании параметра $\sigma(\mu)$ для каждого исследуемого объема вы-

борки n . На рис. 5 представлен график изменения наблюдаемых значений Стьюдента в зависимости от значений возмущающего воздействия $\sigma(\mu)$, которое изменялось в диапазоне $[0.24, 0.44]$.

Динамика изменения наблюдаемых значений $t(n-2)$

Рис. 5. Динамика изменения наблюдаемых значений $t(n-2)$ в зависимости от $\sigma(\mu)$

Fig. 5. The dynamics of changes in the observed values of $t(n-2)$ depending on $\sigma(\mu)$

Результаты проведенных экспериментов подтверждают чувствительность и устойчивость предложенного подхода для обнаружения А-событий при использовании сплайн-интерполяции. Устойчивое распознавание А-событий наблюдается при увеличении объема выборки $n > 40$ и $\sigma(\mu) > 0.32$ с учетом уровня доверительной вероятности.

Заключение. В соответствии с поставленной задачей предложенный в статье подход к обнаружению аномальных состояний природно-технических объектов основан на развитии методов динамической идентификации уязвимостей в информационных потоках данных. Подход базируется на основе представления интенсивности интерфейсного трафика кусочно-линейными сплайнами и реализован с использованием моделирующего стенда, разработанного для оценки А-событий в потоках данных, распределенных по заданному закону. Сформированные описания сплайнов используются для оценки расхождений между исследуемыми распределениями

и влияния ряда факторов на достоверность принимаемых решений.

Предложена структура комплекса обнаружения А-событий ПТО и ПТС, приведен модельный эксперимент. Полученные результаты исследования подтверждают устойчивость и чувствительность метода при выборе пороговых значений интервалов, определяющих состояния ПТО и ПТС.

В процессе имитационного моделирования становится возможным определение и оценка совокупности следующих характеристик:

- параметрически настраиваемых пороговых значений критических областей;
- соответствие теоретического и эмпирического распределения случайной величины;
- области достоверного распознавания состояния ПТО и ПТС;
- области принятия гипотез.

В зависимости от назначения модели, уровня критичности объектов контроля эксперт вправе задавать необходимые пороговые значения настроечных параметров модели, для которых, с од-

ной стороны, будет обеспечена высокая достоверность контролируемых значений характеристик объектов, с другой – достигается допустимое число ошибок первого и второго рода, а значит, будут снижены риски при принятии ошибочных решений. В планах дальнейших исследований предлагается исследовать процессы обнаружения А-событий для n компьютерных узлов, а также построить систему поддержки принятия решений, поддерживающей адаптивную динамическую настройку пороговых значений критических областей при изменении величины колебаний $\alpha(f)$, шага h , скорости изменения угла наклона сплайна при возмущениях $\sigma(\mu)$.

Данная модель может применяться в других предметных областях, где требуется оценка динамических параметров контролируемых объектов. Так, например, в настоящее время активно развивается рынок беспилотных интеллектуальных транспортных систем, базирующийся на транспортных сервисах и услугах [10]. Такие сервисы направлены на управление движением транспортных средств, информирования водителей о чрезвычайных ситуациях, оптимизации маршрутов и т.п. При этом возникает необходимость решения задач с использованием информационных технологий, которые обеспечивают безопасность объектов критической инфраструктуры «умный город».

Таким образом, полученные в ходе результаты носят междисциплинарный характер и могут быть использованы в ряде других направлений: при решении задач мониторинга облачных вычислительных ресурсов; финансового или экологического мониторинга; при управлении и контроле трафика в крупных хабах: аэропорты, железнодорожные, морские, речные вокзалы и другие.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-29-06015/20, № 19-29-06023/20.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гайский В.А., Гайский П.В. Многомерный гармонический анализ при измерениях полей морской среды // Системы контроля окружающей среды. 2019. № 4 (38). С. 33–42. DOI: 10.33075/2220-5861-2019-4-33-42
2. Chan P.K., Mahoney M.V. Modeling multiple time series for anomaly detection // In Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Data Mining. IEEE Computer Society, Washington, USA, 2005. P. 90–97.
3. Agarwal D. Detecting anomalies in cross-classified streams: a bayesian approach // Knowledge and Information Systems. 2006. Vol. 11, No. 1. P. 29–44.
4. Стечкин С.Б., Субботин Ю.Н. Сплайны в вычислительной математике. М.: Наука, 1976. 247с.
5. К. де Бор. Практическое руководство по сплайнам. М.: Радио и связь, 1985. 303 с.
6. Канахен Д., Моулер К., Нэш С. Численные методы и программное обеспечение. М.: Мир, 1998. 286 с.
7. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В., Рудченко Е.А. Scilab: Решение инженерных и математических задач. М.: ALT Linux: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. 269 с.
8. Ильин В.А., Садовничий В.А., Сендов Бл.Х. Математический анализ. Продолжение курса. М.: Изд-во МГУ, 1987. 342 с.
9. Алберг Дж. Теория сплайнов и ее приложения / Дж. Алберг, Э. Нильсон, Дж. Уолш. М.: Мир, 1972. 319 с.
10. Адаптивный метод обнаружения уязвимостей интерфейсов беспилотных транспортных средств в инфраструктуре умного города / А.В. Скатков, А.А. Брюховецкий, Д.В. Моисеев [и др.] // Информационные технологии. 2020. Т. 18, № 1. С. 45–50.

CONDITIONS VULNERABILITY IDENTIFICATION OF NATURAL AND TECHNICAL OBJECTS BASED ON LINEAR SPLINE INTERPOLATION OF INTERFACE TRAFFIC INTENSITY

A.V. Skatkov, A.A. Bryukhovetskiy, I.A. Skatkov

Sevastopol State University,
RF, Sevastopol, Universitetskaya St., 33

The method of application of spline interpolation in solving the problems of identification of abnormal states (A-events) in information data flows and classification of the specified events in the control of natural and technical objects (PTO) is considered. The approach is based on the representation of the intensity of interface traffic by piecewise linear splines and implemented using a modeling stand. At the first stage, descriptions are generated and formed in the form of linear splines representing the states of controlled objects, one of which is subject to external disturbance. At the second stage, the generated descriptions of splines are used to assess discrepancies between the studied distributions and the influence of a number of factors on the reliability of decisions made using probabilistic modeling methods in the Anylogic environment.

Keywords: spline interpolation, identification of A-events, probabilistic model, statistical estimates, non-parametric criterion.

REFERENCES

1. Gaitsky V.A. and Gaitsky P.V. Mnogomernyy garmonicheskij analiz pri izmereniyah polej morskoy sredy (Multidimensional harmonic analysis for measurements of marine environment). *Sistemy kontrolja okruzhajushhej sredy*, 2019, No. 4 (38), pp. 33–42.
2. Chan P.K. and Mahoney M.V. Modeling multiple time series for anomaly detection. In *Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Data Mining*. IEEE Computer Society, Washington, USA, 2005, pp. 90–97.
3. Agarwal D. Detecting anomalies in cross-classified streams: a bayesian approach. *Knowledge and Information Systems*. 2006, Vol. 11, No. 1. pp. 29–44.
4. Stechkin S.B. and Subbotin Yu.N. Splayny v vychislitel'noy matematike (Splines in computational mathematics). Moscow: Nauka, 1976, 247 p.
5. K. de Boor. Prakticheskoye rukovodstvo po splaynam (A practical guide to splines). Moscow: Radio and communication, 1985, 303 p.
6. Kanahan D., Mowler K., and Nash S. Chislennyye metody i programmnoye obespecheniye (Numerical methods and software). Moscow: Mir, 1998, 286 p.
7. Alekseev E.R., Chesnokova O.V., and Rudchenko E.A. Scilab: Resheniye inzhenernykh i matematicheskikh zadach (Scilab: Solving engineering and mathematical problems). Moscow: ALT Linux: BINOM. Knowledge Laboratory, 2008, 269 p.
8. Ilyin V.A., Sadovnichy V.A., and Sendov Bl.Kh. Matematicheskij analiz. Prodolzheniye kursa (Mathematical analysis. Continuation of the course.) Moscow: Izd-vo MGU, 1987. 342 p.
9. Alberg J., Nilsson E., and Walsh J. Teoriya splaynov i yeye prilozheniya (Theory of splines and its applications). Moscow: Mir, 1972, 319 p.
10. Skatkov A.V., Bryukhovetskiy A.A., Moiseev D.V., and Shevchenko V.I. Adaptivnyy metod obnaruzheniya uyazvimostey interfeysov bespilotnykh transportnykh sredstv v infrastrukture umnogo goroda (An adaptive method for detecting vulnerabilities in the interfaces of unmanned vehicles in the infrastructure of a smart city). *Infokommunikatsionnyye tekhnologii*, 2020, Vol. 18, No. 1, pp. 45–50.