

А. А. Костоглотов, С. В. Лазаренко, А. С. Пеньков, В. О. Зехцер, Х. Ш. Кульбикаян

СИНТЕЗ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ОРИЕНТАЦИИ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА БАЗЕ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО НЕЙРОСЕТЕВОГО ИДЕНТИФИКАТОРА *

Аннотация. Традиционные алгоритмы обработки измерительной информации не всегда обеспечивают необходимую точность оценки в условиях внешних воздействий и требуют больших вычислительных мощностей, которые сложно реализовать в условиях ограничений на массогабаритные характеристики транспортных БПЛА. Применение алгоритмов динамической оценки угловой ориентации БПЛА на основе адаптивной модели в совокупности с использованием многослойных нейронных сетей прямого распространения позволяет снизить ошибку оценки параметров динамической системы без существенного увеличения вычислительных затрат. В статье приводится синтез системы оценки ориентации БПЛА с многопараметрическим нейросетевым идентификатором, позволяющий повысить точность оценки в сравнении с классическим фильтром Калмана.

Ключевые слова: адаптация, динамические системы, фильтр Калмана, интеллектуализация, транспортные системы, нейросеть, беспилотные летательные аппараты.

Для цитирования: Синтез интеллектуального алгоритма оценки ориентации подвижных объектов транспортной инфраструктуры на базе многопараметрического нейросетевого идентификатора / А. А. Костоглотов, С. В. Лазаренко, А. С. Пеньков [и др.] // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 1. – С. 144–151. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_1_144.

Введение

Современные транспортные системы характеризуются всё большей насыщенностью своей инфраструктуры различными объектами и инженерными сооружениями, которые могут находиться в разнообразных гидро- и геологических условиях, в районах с высокой контрастностью климатических особенностей, повышенной сейсмической активностью [1]. В связи с этим наблюдается значительный рост интереса к вопросу применения беспилотных летательных аппаратов для осуществления дистанционного мониторинга объектов и территорий. Использование БПЛА позволяет проводить разведку, анализ местности и наблюдение в труднодоступных, отдаленных районах, в условиях действия опасных и вредных воздействий. Возможность получения оперативной фото- и видеоинформации в хорошем качестве значительно упрощает координирование работы наземного комплекса, а также повышает эффективность оперативных служб при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Все это делает БПЛА одним из наиболее предпочтительных средств сбора оперативной информации.

Однако применение БПЛА в вышеперечисленных задачах накладывает высокие требования на их технические характеристики. Одним из таких требований является высокая точность функционирования системы ориентации [2], которая является одним из основных элементов авионики любого БПЛА. В работе [3] показано, что адаптивная модель движения с интеллектуальной нейросетевой идентификацией [4] параметра адаптации в составе фильтра оценки ориентации беспилотных транспортных средств позволяет повысить точность оценки в сравнении с классическим фильтром Калмана.

Как показали исследования [5, 6], алгоритмы управления имеют различные режимы, что связано, например, с необходимостью парирования внешних импульсных воздействий высокой интенсивности. Оценка такого рода воздействий предполагает изменение нескольких параметров

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00812, <https://rscf.ru/project/23-29-00812/>.

фильтра [7]. Модель движения, представленная в [8, 9], предполагает адаптацию за счет параметра, характеризующего динамику объекта, что не позволяет в достаточной мере описать движение объекта в условиях высокой турбулентности и ветреной обстановке. Необходимо отметить, что качество функционирования фильтра определяется еще и интенсивностью внешних воздействий в модели динамики [7]. Это определяет необходимость многопараметрической адаптации алгоритма оценки за счет изменения величины диссипативной составляющей и интенсивности внешнего воздействия.

Целью работы является синтез интеллектуального алгоритма оценки параметров подвижных объектов транспортной инфраструктуры с адаптацией модели на базе многопараметрического нейросетевого идентификатора.

Алгоритм оценки параметров состояния на базе адаптивной модели движения

В основу алгоритма оценки может быть положена адаптивная модель движения, предложенная авторами в [8, 9]:

$$\ddot{q}(t) = -\sqrt{\lambda}\dot{q}(t) + \lambda w(t), \quad (1)$$

где $q(t)$ – угловое положение объекта,
 $w(t)$ – БГШ с известными локальными характеристиками

$$M[w(t)] = 0, \quad M[w^2(t)] = \psi\delta(t - \tau),$$

λ – параметр диссипативной составляющей,
 ψ – интенсивность шума состояния.

Использование процедуры расширения пространства состояний и конечно-разностной аппроксимации выражения (1) позволяет записать векторно-матричное выражение для модели движения в форме Коши:

$$\mathbf{x}(i) = \Phi\mathbf{x}(i-1) + \Gamma w(i), \quad (2)$$

где $\mathbf{x} = [q, \dot{q}]^T = [x_1, x_2]^T$ – расширенный вектор состояния,
 T – знак транспонирования,

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 - \sqrt{\lambda}\Delta t \end{bmatrix} \text{ – переходная матрица состояния,}$$

Δt – период дискретизации,

$$\Gamma = \begin{bmatrix} \frac{\lambda^2 \Delta t^2}{2} \\ \lambda \Delta t \end{bmatrix} \text{ – вектор интенсивности шума состояния,}$$

Вектор наблюдения имеет вид:

$$\mathbf{z}(i) = \mathbf{H}\mathbf{x}(i) + \mathbf{v}(i), \quad (3)$$

где $\mathbf{z} = [z_1, z_2]^T$,

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ – переходная матрица наблюдения,}$$

$\mathbf{v}(i) = [v_1(i), v_2(i)]^T$ – вектор интенсивности шумов наблюдения с локальными характеристиками

$M[\mathbf{v}^T(i)\mathbf{v}(j)] = \mathbf{R}$. В соответствии с [10] для непрерывного случая матрица R определяется как $M[\mathbf{v}^T(t)\mathbf{v}(\tau)] = R\delta(\tau - t)$, а ее элементы имеют размерность спектральной плотности. Полагая, что каналы наблюдения не коррелированы между собой, определим связь между соответствующими матрицами дискретной и непрерывной систем $\mathbf{R} = R\Delta t^{-1} = \begin{bmatrix} \sigma_{v_1}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{v_2}^2 \end{bmatrix}$

. Важно подчеркнуть, что матрица \mathbf{R} имеет размерность дисперсии в отличие от матрицы интенсивности R для непрерывного времени.

Выражения (2) и (3) позволяют синтезировать адаптивный фильтр калмановского типа [10], алгоритм которого имеет вид:

$$\begin{aligned}\hat{\mathbf{x}}(i|i-1) &= \Phi \hat{\mathbf{x}}(i-1), \\ \hat{\mathbf{x}}(i) &= \hat{\mathbf{x}}(i|i-1) + \mathbf{P}_i \mathbf{H}^T \mathbf{R}^{-1} \{ \mathbf{z}(i) - \mathbf{H} \hat{\mathbf{x}}(i|i-1) \}, \\ \mathbf{P}(i|i-1) &= \Gamma \mathbf{Q} \Gamma^T + \Phi \mathbf{P}(i-1) \Phi^T,\end{aligned}\tag{4}$$

$$\mathbf{P}(i) = \mathbf{P}(i|i-1) - \mathbf{P}(i|i-1) \mathbf{H}^T \left[\mathbf{H} \mathbf{P}(i|i-1) \mathbf{H}^T + \mathbf{R} \right]^{-1} \mathbf{H} \mathbf{P}(i|i-1),$$

где $\mathbf{P}(i|i-1)$ – априорная плотность распределения вероятности ошибки экстраполяции,

$\mathbf{P}(i)$ – апостериорная плотность распределения вероятности ошибки фильтрации,

\mathbf{Q} – ковариационная матрица шума состояния.

В классическом варианте построения фильтра Калмана матрица \mathbf{Q} определяется следующим образом [11]:

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} \frac{\Psi}{\Delta t} & 0 \\ 0 & \frac{\Psi}{\Delta t} \end{bmatrix}.\tag{5}$$

Так как входной шум $w(i)$ в модели движения (2) является скалярной величиной, то его ковариационная матрица вырождается в скаляр $Q = \Psi / \Delta t$.

Определение величины интенсивности Ψ на практике представляет значительные сложности ввиду априорной неопределенности внешних воздействий [12].

Синтез нейросетевого идентификатора

При решении задач идентификации с помощью нейронных сетей приоритетными являются такие практические вопросы, как: получение репрезентативной выборки экспериментальных данных, выбор структуры нейронной сети, поиск минимума функции многих переменных при обучении нейронных сетей, проверка адекватности полученной модели нейросети, структурная оптимизация нейросетевых моделей [12]. Существует комплексный формализованный подход к реализации многоэтапной процедуры идентификации динамических объектов с использованием нейронных сетей, где в качестве основной задачи рассматривается построение логически законченной процедуры, позволяющей получить эффективные нейросетевые модели нелинейных динамических объектов [13].

Произведём сбор необходимого количества данных во всём рабочем диапазоне системы. Качество идентификации будет зависеть от полноты и достоверности данных. Также произведём рациональный выбор частоты дискретизации, синтез входного (тестового) сигнала, фильтрацию, удаление из экспериментальных данных нежелательных эффектов. Исходными данными являются усредненные на множестве реализаций с частотой дискретизации $\Delta t = 0,02$ с. переходные характеристики отклика БПЛА на возмущающее воздействие в виде прямоугольных импульсов u амплитудой $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ и 30° по оси крена, длительностью 10 с. С использованием алгоритма (4) проведен анализ результатов обработки множества реализаций исходного процесса, каждому значению амплитуды входного воздействия ставятся в соответствие значения параметров λ и ψ , обеспечивающие минимальное значение ошибки фильтрации. В результате получены зависимости $\lambda(u)$ и $\psi(u)$, которые представлены на рис. 1.

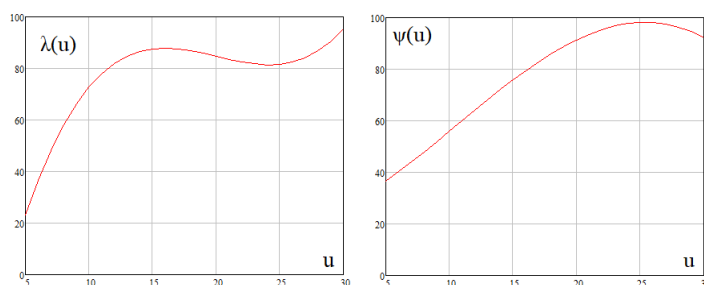


Рис. 1. Зависимость коэффициентов адаптации от амплитуды управляющего воздействия

Среди множества модельных структур, подходящих для описания исследуемой системы, выберем простую структуру прямого распространения, т.к. при простоте её реализации и высокой вычислительной скорости её будет достаточно для отражения динамики исследуемой системы. Структура нейронной сети строится следующим образом: первые 2 слоя имеют по 4 нейрона с линейной функцией активации, третий слой – 2 нейрона с линейной функцией активации, на вход подаётся N значений переходного процесса, на выходе 2 параметра адаптации λ и ψ . Схема эксперимента представлена на рис. 2.

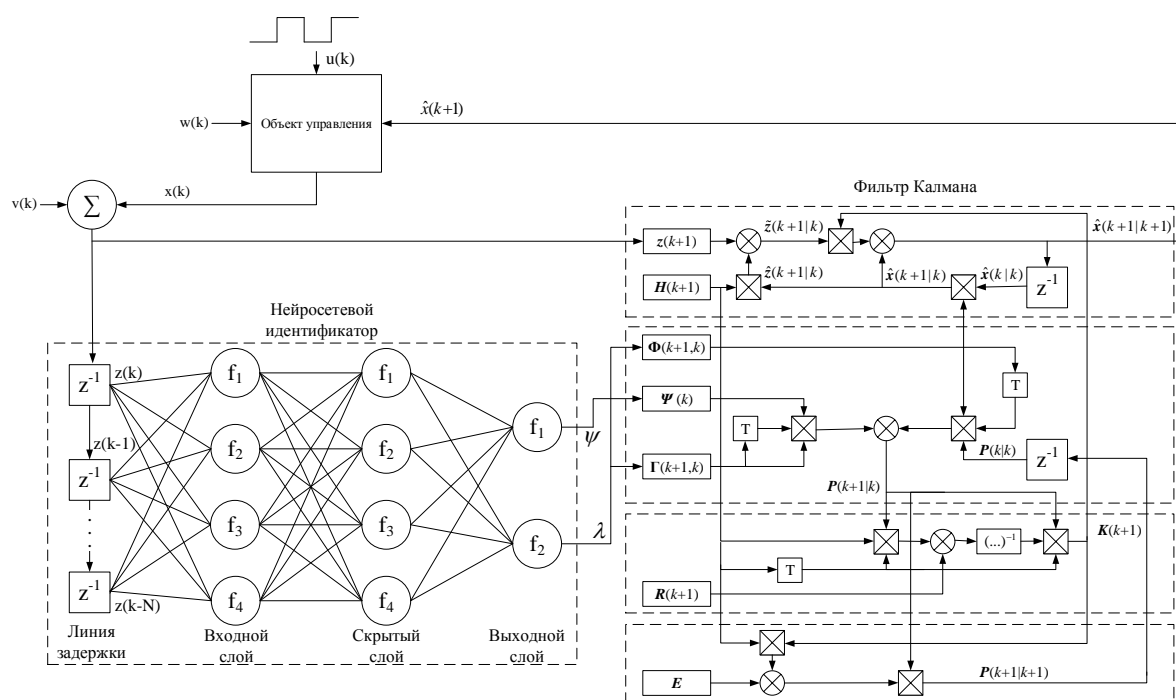


Рис. 2. Структурная схема фильтра с нейросетевым идентификатором

Далее, после выбора конкретной структуры нейросети, производится выбор параметров нейросетевой модели, наилучшим образом удовлетворяющей критерию среднеквадратичной ошибки. Обучение нейронной сети происходит с использованием алгоритма обратного распространения ошибки по заданным входным и выходным данным (обучение с учителем). Для обучения сети используются наборы значений: по M реализаций процесса угловой ориентации БПЛА из N значений для каждого из задающих воздействий.

Для проверки адекватности полученной нейросетевой модели реальной системе требуется провести анализ эффективности разработанного алгоритма.

Анализ эффективности предложенного алгоритма оценки параметров подвижных объектов транспортной инфраструктуры

Рассмотрим пример функционирования предложенного алгоритма в задачах оценки ориентации БПЛА по оси крена.

Первым этапом является обучение нейросетевой модели на множестве выборок, характеризующих поведение объекта в различных режимах движения: нейросеть обучается при $M = 100, N = 500$ и СКО шума обучающих данных $\sigma_{in} = 5^\circ$.

Вторым этапом является анализ эффективности функционирования алгоритма оценки с адаптацией параметров на базе обученного нейросетевого идентификатора. На этом этапе исходными являются данные эксперимента по изменению угла крена макета БПЛА, закрепленного в стенде для отладки алгоритмов оценки управления по оси крена. Поток данных принимается в формате:

$$[A_x, A_y, A_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z],$$

где A_x, A_y, A_z – показания акселерометра,

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – показания гироскопа.

На основании полученных данных производится расчет угла крена $\theta = f(A_x, A_y, A_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z)$, после чего обученная нейросеть формирует значения параметров λ и ψ , обеспечивающих минимальное значение ошибки оценки угла крена. Усредненные на 1000 реализациях ошибки оценки ориентации макета БПЛА по углу крена сведены в таблицу.

Ошибки оценки угла крена БПЛА

Заданный угол крена	Фильтр Калмана	Ошибка фильтра с адаптацией по λ и ψ	Повышение точности
5°	0.95°	0.9°	5.3 %
10°	2.07°	1.92°	7.2 %
15°	2.34°	2.13°	9.0 %
20°	4.03°	3.57°	11.4 %
25°	5.38°	4.66°	13.4 %
30°	5.96°	5.02°	15.8 %

Выводы

Функционирование современных систем управления подвижными объектами транспортной инфраструктуры подразумевает наличие достоверных данных о состоянии объекта, получаемых с помощью алгоритмов оценки.

В режимах полета БПЛА, характеризующихся внешними импульсными воздействиями высокой интенсивности, их учет возможен за счет многопараметрической адаптации параметров, связанных с диссипативной составляющей и интенсивностью предполагаемого воздействия.

Синтезирован интеллектуальный алгоритм оценки параметров подвижных объектов транспортной инфраструктуры с адаптацией параметров модели. Адаптация синтезированной модели может быть произведена с применением нейросетевого идентификатора. Обученная на множестве доступных выборок нейросеть обеспечивает некоторое приближение параметров фильтра к их оптимальным значениям.

Анализ эффективности предложенного алгоритма подтвержден полунатурным моделированием оценки ориентации макета БПЛА по углу крена. В приведенном примере использование интеллектуального алгоритма оценки с адаптацией параметров модели на базе нейросетевого идентификатора обеспечивает повышение точности оценки на 5–15 % в сравнении с классическим фильтром Калмана.

Список литературы

1 Григоренко, Н. И. Диагностика состояния автодороги с помощью беспилотного

References

1 Grigorenko, N. I. Diagnostics of the road condition using an unmanned aerial vehicle /

летательного аппарата / Н. И. Григоренко, Е. Е. Янчук // Мир транспорта. – 2017. – Т. 15, № 3(70). – С. 86–92. – EDN ZTPSBB.

2 **Павлов, В. М.** Измерение углового положения транспортного средства / В. М. Павлов // Транспорт : наука, образование, производство. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2022. – Т. 1. – С. 209–212. – EDN JLM BMP.

3 **Костоглотов, А. А.** Синтез адаптивных алгоритмов оценки ориентации беспилотных транспортных средств с использованием интеллектуального нейросетевого идентификатора / А. А. Костоглотов, А. С. Пеньков, В. О. Зехцер // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 1 (85). – С. 186–194. – DOI 10.46973/0201-727X_2022_1_186.

4 Аналитический обзор современных интеллектуальных информационных технологий в технике и на производстве / С. М. Ковалев [и др.] // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 1 (73). – С. 60–75. – EDN ZBKLIL.

5 **Чулин, Н. А.** Система управления беспилотным летательным аппаратом / Н. А. Чулин, И. В. Миронова // Инженерный журнал : наука и инновации. – 2018. – № 9. – С. 1–11. – EDN VAGNVQ.

6 **Гуцевич, Д. Е.** Моделирование поведения летательного аппарата самолетного типа с автоматическим управлением в различных режимах полета / Д. Е. Гуцевич // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. – 2018. – № 1. – С. 12–23. – EDN XZCQWT.

7 **Коновалов, А. А.** Основы траекторной обработки радиолокационной информации. Часть 2 / А. А. Коновалов. – Санкт-Петербург : СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2013. – 180 с. – ISBN 978-5-7629-1544-1.

8 **Костоглотов, А. А.** Структурно-параметрический синтез фильтра сопровождения на базе декомпозиции по целевому функционалу с адаптацией к возмущениям траектории / А. А. Костоглотов, А. С. Пеньков, С. В. Лазаренко // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2021. – Т. 19. – № 2. – С. 14–25. – DOI 10.18127/j20700814-202102-02. – EDN FFWWBO.

9 **Костоглотов, А. А.** Метод синтеза адаптивных алгоритмов оценки параметров динамических систем на основе принципа декомпозиции и методологии объединенного принципа максимума / А. А. Костоглотов, А. С. Пеньков,

N. I. Grigorenko, E. E. Yanchuk // World of Transport. – 2017. – Vol. 15, No. 3 (70). – P. 86–92. – EDN ZTPSBB.

2 **Pavlov, V. M.** Measuring the angular position of a vehicle / V. M. Pavlov // Transport : science, education, production. – Rostov-on-Don : RSTU, 2022. – Vol. 1. – P. 209–212. – EDN JLM BMP.

3 **Kostoglotov, A. A.** Synthesis of adaptive algorithms for assessing the orientation of unmanned vehicles using an intelligent neural network identifier / A. A. Kostoglotov, A. S. Penkov, V. O. Zekhtser // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya – 2022. – No. 1 (85). – P. 186–194. – DOI 10.46973/0201-727X_2022_1_186.

4 Analytical review of modern intelligent information technologies in engineering and in production / S. M. Kovalev [et al.] // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2019. – No. 1 (73). – P. 60–75. – EDN ZBKLIL.

5 **Chulin, N. A.** Unmanned aerial vehicle control system / N. A. Chulin, I. V. Mironova // Engineering Journal: Science and Innovation. – 2018. – No. 9. – P. 1–11. – EDN VAGNVQ.

6 **Gutsevich, D. E.** Modeling the behavior of an aircraft-type aircraft with automatic control in various flight modes / D. E. Gutsevich // Mathematical modeling, computer and field experiment in natural sciences. – 2018. – No. 1. – P. 12–23. – EDN XZCQWT.

7 **Konovalev, A. A.** Fundamentals of trajectory processing of radar information. Part 2 / A. A. Konovalev. – St. Petersburg : SPbSETU «LETI», 2013. – 180 p. – ISBN 978-5-7629-1544-1.

8 **Kostoglotov, A. A.** Structural-parametric synthesis of a tracking filter based on decomposition by target functional with adaptation to trajectory perturbations / A. A. Kostoglotov, A. S. Penkov, S. V. Lazarenko // Information-measuring and control systems. – 2021. – Vol. 19. – No. 2. – P. 14–25. – DOI 10.18127/j20700814-202102-02. – EDN FFWWBO.

9 **Kostoglotov, A. A.** Method of synthesis of adaptive algorithms for estimating parameters of dynamic systems based on the principle of decomposition and methodology of the combined maximum principle / A. A. Kostoglotov,

С. В. Лазаренко // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия : Естественные науки. – 2020. – № 4 (208). – С. 22–28. – EDN QOAKMD.

10 **Sokolov, S.** Adaptive stochastic filtration based on the estimation of the covariance matrix of measurement noises using irregular accurate observations / S. Sokolov, M. Polyakova, A. Novikov // Inventions. – 2021. – Т. 6. – № 1. – P. 1–12. – EDN KOPLQN.

11 **Матвеев, В.В.** Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем / В. В. Матвеев, В. Я. Распопов // ОАО «Концерн "ЦНИИ "Электроприбор"». – 2009. – 280 с. – EDN QNWJZT.

12 **Ковалев, В. С.** Адаптивные сетевые модели слияния мультисенсорных данных в гибридных диагностических системах / В. С. Ковалев, С. М. Ковалев, А. В. Суханов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 1 (77). – С. 153–162. – EDN ROSZKE.

13 **Пупков, К. А.** Методы робастного, нейронечеткого и адаптивного управления : Цикл учебников и учебных пособий «Методы теории автоматического управления» / К. А. Пупков, Н. Д. Егупов, А. И. Гаврилов // Москва : Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет). – 2001. – 744 с. – EDN WEYIDX.

14 **Егорчев, М. В.** Нейросетевой полуэмпирический подход к моделированию продольного движения и идентификации аэродинамических характеристик маневренного самолета / М. В. Егорчев, Ю. В. Тюминцев // Труды МАИ. – 2017. – 31 с. – EDN YZMBEN.

A. S. Penkov, S. V. Lazarenko // News of higher educational institutions. The North Caucasus region. Series : Natural Sciences. – 2020. – No. 4 (208). – P. 22–28. – EDN QOAKMD.

10 **Sokolov, S.** Adaptive stochastic filtration based on the estimation of the covariance matrix of measurement noises using irregular accurate observations / S. Sokolov, M. Polyakova, A. Novikov // Inventions. – 2021. – Vol. 6. No. 1. – P. 1–12. – EDN KOPLQN.

11 **Matveev, V. V.** Fundamentals of construction of free-form inertial navigation systems / V. V. Matveev, V. Ya. Raspopov // JSC «Concern "Central Research Institute "Electropribor"». – 2009. – 280 p. – EDN QNWJZT.

12 **Kovalev, V. S.** Adaptive network models of multisensory data fusion in hybrid diagnostic systems / V. S. Kovalev, S. M. Kovalev, A. V. Sukhanov // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2020. – No. 1 (77). – P. 153–162. – EDN ROSZKE.

13 **Pupkov, K. A.** Methods of robust, neuro-fuzzy and adaptive control : A cycle of textbooks and manuals "Methods of the theory of automatic control" / K. A. Pupkov, N. D. Egupov, A. I. Gavrilov // Moscow : Bauman Moscow State Technical University (National Research University). – 2001. – 744 p. – EDN WEYIDX.

14 **Egorchev, M. V.** Neural network semi-empirical approach to modeling longitudinal motion and identification of aerodynamic characteristics of a maneuverable aircraft / M. V. Egorchev, Yu. V. Tyumintsev // Proceedings of MAI. – 2017. – 31 p. – EDN YZMBEN.

A. A. Kostoglotov, S. V. Lazarenko, A. S. Penkov, V. O. Zekhtser, K. S. Kulbikayan

SYNTHESIS OF AN INTELLIGENT ALGORITHM FOR ASSESSING THE ORIENTATION OF MOVABLE OBJECTS OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE ON THE BASIS OF A MULTIPARAMETER NEURAL NETWORK IDENTIFIER

Abstract. General measurement informational processing algorithms do not always provide the necessary accuracy of assessment under external influences and require large computing power, which is difficult to implement under conditions of restrictions on the weight and size characteristics of UAVs transport. The use of algorithms for dynamic estimation of the UAV angular orientation based on an adaptive model in combination with the use of multilayer neural networks of direct propagation makes it possible to reduce the error in estimating the parameters of a dynamic system without a significant increase in computational costs. The paper presents the synthesis of a UAV orientation estimation system

with a multiparameter neural network identifier, which makes it possible to improve the estimation accuracy in comparison with the classical Kalman filter.

Keywords: adaptation, dynamic systems, Kalman filter, intellectualization, transport systems, neural network, unmanned aerial vehicles.

For citation: Kostoglotov, A. A. Synthesis of an intelligent algorithm for assessing the orientation of movable objects of transport infrastructure on the basis of a multiparameter neural network identifier / A. A. Kostoglotov, S. V. Lazarenko, A. S. Penkov [et al.] // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2023. – No. 1. – P. 144–151. – DOI 10.46973/0201-727X_2023_1_144.

Сведения об авторах

Костоглотов Андрей Александрович

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),
НИЧ, кафедра «Связь на железнодорожном транспорте»,
доктор технических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: kostoglotov@me.com

Лазаренко Сергей Валерьевич

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),
НИЧ, кафедра «Связь на железнодорожном транспорте»,
кандидат технических наук, доцент,
старший научный сотрудник,
e-mail: rh3311@mail.ru

Пеньков Антон Сергеевич

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),
НИЧ, кафедра «Связь на железнодорожном транспорте»,
научный сотрудник,
e-mail: penkovas@rgups.ru

Зехцер Владимир Олегович

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),
НИЧ, кафедра «Связь на железнодорожном транспорте»,
младший научный сотрудник,
e-mail: vova-zehcer@yandex.ru

Кульбикаян Хачерес Шагенович

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Связь на железнодорожном транспорте»,
кандидат технических наук, доцент
e-mail: bagrat@rgups.ru

Information about the authors

Kostoglotov Andrey Alexandrovich

Rostov State Transport University (RSTU),
Research Department, Chair «Communication on Railway Transport»,
Doctor of Engineering Sciences, Professor,
Leading Researcher,
e-mail: kostoglotov@me.com

Lazarenko Sergey Valeryevich

Rostov State Transport University (RSTU),
Research Department, Chair «Communication on Railway Transport»,
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
e-mail: rh3311@mail.ru

Penkov Anton Sergeevich

Rostov State Transport University (RSTU),
Research Department, Chair «Communication on Railway Transport»,
Researcher,
e-mail: penkovas@rgups.ru

Zekhtser Vladimir Olegovich

Rostov State Transport University (RSTU),
Research Department, Chair «Communication on Railway Transport»,
Junior Researcher,
e-mail: vova-zehcer@yandex.ru

Kulbikayan Khacheres Shagenovich

Rostov State Transport University (RSTU),
Chair «Communication on Railway Transport»,
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor,
e-mail: bagrat@rgups.ru