

*АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ  
И ИДЕНТИФИКАЦИЯ*

УДК 681.51:519.6

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-3-4-7-16

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛОКАЛЬНО-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ  
ФИЛЬТРАЦИИ ЗАШУМЛЕННЫХ СИГНАЛОВ В ЗАДАЧАХ  
ИДЕНТИФИКАЦИИ\***

В.А. БОЕВА

*630008, РФ, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, аспирант, ассистент кафедры прикладной математики. E-mail: v.bojeva@edu.sibstrin.ru*

Для описания математических моделей стационарных технических, физических или инженерных систем часто применяется интегральное уравнение Вольтерра I рода с разностным ядром. В этом случае задача непараметрической идентификации будет сводиться к построению оценки импульсной переходной характеристики идентифицируемой системы на основе измеренных (с шумами) значений входного (ядро интегрального уравнения) и выходного (правая часть интегрального уравнения) сигналов. Такая постановка задачи традиционно определяется как некорректная, поскольку может не удовлетворять одному или нескольким условиям корректности по Адамару, в частности, условию устойчивости решения к погрешностям задания исходных данных. Для построения решения, удовлетворяющего условиям корректности, применяют различные регуляризирующие алгоритмы – как детерминированные, так и статистические. Регуляризирующие алгоритмы дают некоторое приближенное решение – оценку импульсной переходной характеристики, точность которого в немалой степени будет зависеть от уровня шумов, содержащихся в исходных данных задачи. С целью снижения относительного уровня ошибки регуляризованного решения предлагается проводить предварительную фильтрацию искаженных шумами сигналов идентифицируемой системы. В статье рассматривается эффективность предварительной фильтрации четырьмя локально-пространственными алгоритмами: фильтром скользящего среднего, интервальным фильтром скользящего среднего, медианным фильтром и комбинированным фильтром. Автором представлены результаты исследований, позволяющие пронаблюдать изменение статистических свойств шума при проведении предварительной фильтрации для случаев нормальных и аномальных измерений. Особое внимание уделяется устранению импульсных шумов при одновременном сохранении контрастных составляющих полезного сигнала. В заключение даются краткие рекомендации о целесообразности проведения предварительной фильтрации зашумленных сигналов идентифицируемой системы.

**Ключевые слова:** интегральное уравнение Вольтерра I рода, задача непараметрической идентификации, локально-пространственная фильтрация, фильтр скользящего

---

\* Статья получена 02 сентября 2019 г.

среднего, интервальный фильтр скользящего среднего, медианный фильтр, комбинированный фильтр, предварительная фильтрация исходных данных задачи идентификации, нормальные измерения, аномальные измерения, статистические характеристики шумов измерений

## ВВЕДЕНИЕ

В качестве модели стационарной динамической системы [1, с. 12–18] часто выступает интегральное уравнение Вольтерра I рода с разностным ядром [2, с. 25–29]:

$$\int_0^t k(t-\tau)\varphi(\tau) d\tau = f(t),$$

где  $k(\tau)$  – импульсная переходная характеристика (ИПХ),  $\varphi(\tau)$  и  $f(t)$  – входной и выходной сигналы системы соответственно. Задача непараметрической идентификации [2, 3] ИПХ системы заключается в построении оценки для  $k(\tau)$  по зарегистрированным на конечных интервалах значениям входного и выходного сигналов системы. Такая задача является поставленной некорректно, поскольку нарушается одно из условий корректности по Адамару [4, с. 15–18; 5, с. 9] – полученное решение может оказаться неустойчивым по отношению к погрешностям, содержащимся в исходных данных. Для получения единственного устойчивого приближенного решения применяются различные методы регуляризации [4, с. 36–58; 5, с. 124–129].

Уровень ошибки регуляризованного решения зависит от шумов измерения выходного и входного сигналов системы [6, 7]. Очевидно, что проведение предварительной фильтрации сигналов идентифицируемой системы может снизить ошибку регуляризованного решения [8]. В данной работе выполнены исследования статистических свойств «остаточного» шума после предварительной фильтрации исходных данных задачи идентификации алгоритмами локально-пространственной фильтрации (ЛПФ) [9].

## 1. АЛГОРИТМЫ ЛОКАЛЬНО-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Будем считать, что имеются значения сигнала, зашумленного случайными величинами  $\eta_j$  с нулевым средним и дисперсией  $\sigma^2$ ,  $\tilde{f}_j = f_j + \eta_j$ ,  $j = 1, \dots, N$  [10].

*Фильтр скользящего среднего (ФСС).* Фильтр хорошо сглаживает шумы равноточных измерений. Выходной сигнал ФСС определяется соотношением

$$\hat{f}_j^{\text{ФСС}} = \text{aver}_K(\tilde{f}_{j-K}, \tilde{f}_{j-K+1}, \dots, \tilde{f}_{j+K}) = \frac{1}{2K+1} \sum_{i=-K}^K \tilde{f}_{j+i},$$

где  $\text{aver}_K$  – функция, вычисляющая среднее значение из  $2K+1$  значений, указанных в скобках;  $K$  – размер апертуры ФСС [11].

*Интервальный фильтр скользящего среднего (ИФ).* Выходной сигнал ИФ определяется соотношением [11]

$$\hat{f}_j^{\text{ИФ}} = \text{aver}_K(\tilde{f}_i : j-K \leq i \leq j+K, |\tilde{f}_i - \tilde{f}_j| \leq \Delta_f).$$

Таким образом, усредняются только значения  $\tilde{f}_i$ , попавшие в интервал  $[\tilde{f}_j - \Delta_f, \tilde{f}_j + \Delta_f]$ . Величина  $\Delta_f$  определяется по правилу «двух сигм» [12, с. 41–50]. Достоинство интервального усреднения – в предотвращении сглаживания контрастных составляющих точного сигнала.

*Медианный фильтр (МФ).* Выходной сигнал МФ определяется соотношением

$$\hat{f}_j^{\text{МФ}} = \text{med}_L(\tilde{f}_{j-L}, \tilde{f}_{j-L+1}, \dots, \tilde{f}_j, \dots, \tilde{f}_{j+L}),$$

где  $\text{med}_L$  – функция, вычисляющая медиану из  $2L+1$  значений, указанных в скобках [11]. Медианный фильтр хорошо подходит для сглаживания импульсных шумов и сохраняет контрастные составляющие в отфильтрованном сигнале.

*Комбинированный фильтр (КФ).* Представляет собой совокупность МФ и ИФ, а его работа для  $j = 1, \dots, N$  описывается следующим алгоритмом [13]:

1. Построение оценки

$$\hat{f}_j^{\text{МФ}} = \text{med}_L(\tilde{f}_{j-L}, \tilde{f}_{j-L+1}, \dots, \tilde{f}_j, \dots, \tilde{f}_{j+L}).$$

## 2. Построение оценки

$$\hat{f}_j^{K\Phi} = \text{aver}_K \left( \hat{f}_i^{M\Phi} : j-K \leq i \leq j+K, \left| \hat{f}_i^{M\Phi} - \hat{f}_j^{M\Phi} \right| \leq \Delta_f \right),$$

где  $K, L$  – размер апертур фильтров,  $K \geq L$ . Усреднение на втором этапе происходит только для значений  $\hat{f}_i^{M\Phi}$  из интервала  $[\hat{f}_j^{M\Phi} - \Delta_f, \hat{f}_j^{M\Phi} + \Delta_f]$ , что предотвращает сглаживание контрастных составляющих точного сигнала. Комбинированный фильтр объединяет в себе достоинства всех приведенных выше фильтров, одновременно устраняя импульсные шумы и успешно сглаживая однородные [14].

## 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В проведенной автором серии вычислительных экспериментов ИПХ идентифицируемой системы  $k(\tau)$  представляет собой ИПХ инерционного колебательного звена 2-го порядка; на вход системы подается высокочастотный сигнал  $\varphi(\tau)$ . Условия проведения эксперимента: нормальные измерения (НИ), когда исходные данные задачи искажались равномерно распределенным «белым» шумом с заданным уровнем  $\delta_\eta$ , одинаковой для всех отсчетов дисперсией  $\sigma_\eta$ , нулевым математическим ожиданием и некоррелированностью отсчетов между собой; б) аномальные измерения (АИ), когда исходные данные задачи помимо «белого» шума также искажались импульсными шумами с вероятностью  $P = 2\%$ . Вид зашумленного выходного сигнала системы представлен на рис. 1 (кривая 1 – точный выходной сигнал системы  $f(t)$ , кривая 2 – выходной сигнал в условиях НИ  $f_\eta(t)$ , кривая 3 – выходной сигнал в условиях АИ  $f_A(t)$ ).

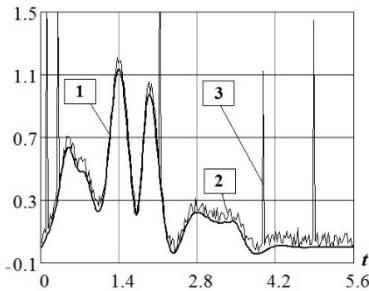


Рис. 1. Выходной сигнал системы (точный и зашумленный)

Выходной сигнал системы представлен на рис. 1 (кривая 1 – точный выходной сигнал системы  $f(t)$ , кривая 2 – выходной сигнал в условиях НИ  $f_\eta(t)$ , кривая 3 – выходной сигнал в условиях АИ  $f_A(t)$ ).

Чтобы определить, какой из четырех алгоритмов ЛПФ будет давать наименьший уровень «остаточного» шума, была протестирована работа этих фильтров, результаты эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1

## Сравнение алгоритмов ЛПФ

Уровень исходного шума, $\delta_\eta$	Уровень «остаточного» шума, $\delta_\lambda$					
	ФСС		ИФ		МФ и КФ	
	НИ	АИ	НИ	АИ	НИ	АИ
0.01	0.012	0.020	0.01	0.027	0.010	0.013
0.02	0.020	0.045	0.02	0.069	0.019	0.025
0.05	0.046	0.066	0.05	0.087	0.049	0.048
0.10	0.090	0.199	0.10	0.152	0.095	0.098
0.15	0.138	0.276	0.15	0.422	0.144	0.149

На основе данных табл. 1 можно заключить, что в условиях НИ все четыре алгоритма успешно справляются с задачей фильтрации, снижая либо не повышая уровень «остаточного» шума. Применение ФСС и ИФ дает неудовлетворительные результаты при работе с импульсными шумами, повышая уровень «остаточного» шума в 1.5...2.5 раза, в то время как применение МФ и КФ снижает уровень «остаточного» шума в области средних и больших шумов  $\delta_\eta \geq 5\%$  [15, с. 192–193], при малых же уровнях импульсных шумов применение этих фильтров эффективнее, чем применение ФСС или ИФ.

Для того чтобы оценить характер изменения статистических свойств «остаточного» шума [16], были построены спектры исходного и «остаточного» шумов в выходном сигнале системы (на рис. 2 и 3 прямая 1 – дисперсия шума, кривая 2 – спектр исходного шума, кривая 3 – спектр «остаточного» шума). Значение дисперсии  $\sigma_\eta = 2.83 \cdot 10^{-5}$ , исходный уровень шума  $\delta_\eta = 0.15$ .

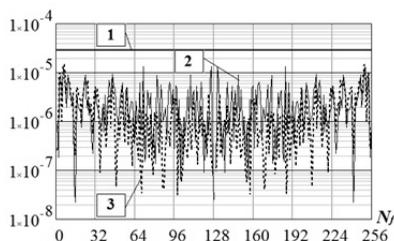


Рис. 2. Спектры шумов (НИ)

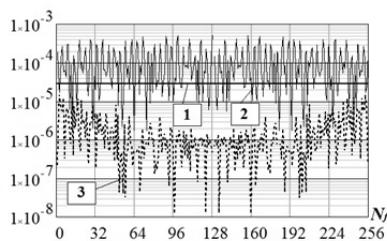


Рис. 3. Спектры шумов (АИ)

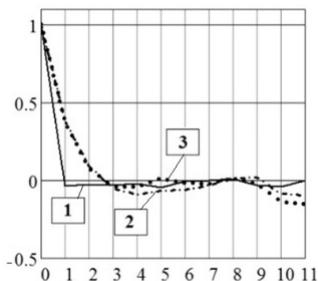


Рис. 4. Автокорреляционные функции выходного сигнала

существенная корреляция между соседними отсчетами (на рис. 4 кривая 1 – автокорреляционная функция точного сигнала, кривая 2 – автокорреляционная функция сигнала после ЛПФ в условиях НИ, кривая 3 – автокорреляционная функция сигнала после ЛПФ в условиях АИ).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, алгоритмы МФ и КФ хорошо подходят для сглаживания импульсных шумов, сохраняя контрастные составляющие в отфильтрованном сигнале. Применение КФ предпочтительно, поскольку он сочетает в себе достоинства всех рассмотренных выше фильтров [8], одновременно устраняя импульсные шумы и успешно сглаживая однородные.

КФ при соответствующем выборе апертуры хорошо справляется с предварительной фильтрацией искаженных импульсными шумами сигналов, снижая уровень «остаточного» шума в 1.5...2 раза. Однако такой «остаточный» шум характеризуется существенной корреляцией между отсчетами, а его спектр становится «цветным», повышая риск увеличения общей относительной ошибки решения [8].

Обобщая результаты работы, можно заключить, что проведение предварительной фильтрации в случае НИ не представляется целесообразным в силу незначительности наблюдаемого эффекта. В случае АИ необходимо помнить о том, что при проведении предфильтрации статистические характеристики исходного шума могут меняться. Решение о проведении предварительной фильтрации сигналов идентифицируемой системы должно определяться конечной целью конкретного исследования.

В случае НИ (рис. 2) спектры исходного и «остаточного» шумов отличаются незначительно. Но в случае АИ, несмотря на то что применение КФ или МФ дает неплохие результаты и успешно борется с импульсными шумами, существенно снижая их уровень, наблюдается «проседание» спектра исходного «белого» шума (рис. 3): мощность шума перемещается в область низких частот, шум становится «цветным», что негативно скажется при дальнейшем поиске регуляризованного решения, увеличивая значение относительной ошибки идентификации. Кроме того, в обоих случаях будет наблюдаться

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сидоров Д.Н.* Методы анализа интегральных динамических моделей: теория и приложения. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. – 293 с.
2. *Бойков И.В., Кривулин Н.П.* Аналитические и численные методы идентификации динамических систем. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2016. – 396 с.
3. *Первушин В.Ф.* О непараметрической идентификации линейных динамических объектов // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2013. – № 4 (25). – С. 95–104.
4. *Тихонов А.Н.* Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1986. – 285 с.
5. *Воскобойников Ю.Е.* Математическая обработка эксперимента в молекулярной газодинамике. – Новосибирск: Наука, 1984. – 238 с.
6. *Воскобойников Ю.Е., Боева В.А.* Новый устойчивый алгоритм непараметрической идентификации технических систем // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 5. – С. 25–29.
7. *Боева В.А.* Предфильтрация шумов в задачах идентификации: статистические свойства // Труды НГАСУ. – 2019. – Т. 22, № 2 (72). – С. 5–19.
8. *Воскобойников Ю.Е.* Метод устранения артефактов вейвлет-фильтрации // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 8. – С. 246–250.
9. *Воскобойников Ю.Е., Литасов В.А.* Устойчивый алгоритм восстановления изображения при неточно заданной аппаратной функции // Автметрия. – 2006. – № 6. – С. 13–22.
10. *Воскобойников Ю.Е.* Устойчивые алгоритмы решения обратных измерительных задач: монография. – Новосибирск: Изд-во НГАСУ, 2007. – 184 с.
11. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений: преобразования и медианные фильтры / под ред. Т.С. Хуанга. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с.
12. *Воскобойников Ю.Е., Баланчук Т.Т.* Теория вероятностей и математическая статистика (с примерами в Excel): учебное пособие. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2013. – 200 с.
13. *Бронников А.В., Воскобойников Ю.Е.* Нелинейные комбинированные алгоритмы фильтрации зашумленных сигналов и изображения // Автметрия. – 1990. – № 1. – С. 21–28.
14. *Воскобойников Ю.Е.* Оценивание оптимальных параметров пространственно-локальных алгоритмов фильтрации сигналов // Автметрия. – 2019. – Т 55, № 3. – С. 13–21.
15. *Боева В.А., Сыренов С.В.* Устойчивый алгоритм непараметрической идентификации при неточном входном и выходном сигналах // Материалы XI Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные вопросы

архитектуры и строительства». – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2018. – С. 188–193.

16. *Воскобойников Ю.Е.* Фильтрация аномальных измерений: какой алгоритм лучше? // Труды НГАСУ. – 2018. – Т. 21, № 4 (70). – С. 88–101.

17. *Воскобойников Ю.Е., Боева В.А.* Исследование эффективности предфильтрации выходного сигнала при непараметрической идентификации // Автоматика и программная инженерия. – 2018. – № 4 (26). – С. 67–76.

***Боева Василиса Андреевна***, аспирант второго года обучения, ассистент кафедры прикладной математики Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета. Основное направление научных исследований – идентификация теплофизических объектов. Имеет 10 публикаций. E-mail: v.bojeva@edu.sibstrin.ru

DOI: 10.17212/2307-6879-2019-3-4-7-16

### **The efficiency of local-spatial filtration valid for noise-contaminated signals in identification problems\***

**V.A. Boeva**

*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113 Leningradskaya Street, Novosibirsk, 630008, Russian Federation, PhD student, teaching assistant of Applied Mathematics Department. E-mail: v.bojeva@edu.sibstrin.ru*

Mathematical models of many technical, physical or engineering systems have the form of Volterra integral equation of the first kind with a difference kernel. For such systems, the non-parametric identification problem reduces to the estimation of pulse transition characteristic of the system from the registered noise-contaminated values of input (the kernel of integral equation) and output (the right hand side of the integral equation) signals. The problem posing this way is traditionally ill-posed due to the violation of one or several Hadamard well-posedness conditions, partly, the solution stability condition concerning noise terms in initial data. To formulate solution for the problem complied with correctness conditions different regularization methods, both deterministic and statistical, exist. Regularization methods give us an approximate solution of the task, the estimation of pulse transition characteristic of the system, partly. The solution accuracy depends very heavily on measurement noises level in initial data. To reduce the total identification error the pre-filtration procedure of identified system noise-contaminated signals is supposedly to be effective. In this paper, author analyses the efficiency of different local-spatial filtration algorithms: moving average filter, interval moving average filter, median filter and combined filter. Also author presents theoretical base and modeling-calculating results and demonstrates how different statistical characteristics of noise terms contained in initial data of identification task change under the local-spatial pre-filtration. All the procedures are focused on cases of uniform and pulse noise masking. Special focus is on pulse noise elimination when useful signal is contrast. Finally, some author's recommendations for pre-filtration application are briefly underlined.

---

\* Received 02 September 2019.

**Keywords:** Volterra integral equation of the first kind, non-parametric identification problem, local-spatial filtration, moving average filter, interval moving average filter, median filter, combined filter, identification task initial data pre-filtration, normal measurement conditions, abnormal measurement conditions, statistical characteristics of measurement noises

## REFERENCES

1. Sidorov D.N. *Metody analiza integral'nykh dinamicheskikh modelei: teoriya i prilozheniya* [Analysis methods of integral dynamical models: theory and applications]. Irkutsk, ISU Publ., 2013. 293 p.
2. Boikov I.V., Krivulin N.P. *Analiticheskie i chislennye metody identifikatsii dinamicheskikh sistem* [Analytic and calculation methods of dynamic systems identification]. Penza, PSU Publ., 2016. 396 p.
3. Pervushin V.F. O neparametricheskoi identifikatsii lineinykh dinamicheskikh ob"ektov [About the non-parametric identification of linear dynamical objects]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika – Tomsk State University Journal of Control and Computer Science*, 2013, no. 4 (25), pp. 95–104.
4. Tikhonov A.N. *Metody resheniya nekorrektnykh zadach* [Methods of ill-posed problems solving]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 285 p.
5. Voskoboinikov Yu.E. *Matematicheskaya obrabotka eksperimenta v molekulyarnoi gazodinamike* [Mathematical processing of experiment in molecular gasdynamics]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1984. 238 p.
6. Voskoboinikov Yu.E., Boeva V.A. Novyi ustoychivyi algoritm neparametricheskoi identifikatsii tekhnicheskikh sistem [New stable algorithm of nonparametric identification of technical systems]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii – Modern high technologies*, 2019, no. 5, pp. 25–29.
7. Boeva V.A. Predfil'tratsiya shumov v zadachakh identifikatsii: statisticheskie svoystva [Pre-filtration in identification problems: statistical characteristics]. *Trudy NGASU – NGASU Proceedings*, 2019, vol. 22, no. 2 (72), pp. 5–19.
8. Voskoboinikov Yu.E. Metod ustraneniya artefaktov veivlet-filtratsii [Method of removal of wavelet filtration artifacts]. *Fundamental'nye issledovaniya – Fundamental research*, 2017, no. 8, pp. 246–250.
9. Voskoboinikov Yu.E., Litasov V.A. Ustoychivyi algoritm vosstanovleniya izobrazheniya pri netochno zadannoi apparatnoi funktsii [A stable image reconstruction algorithm for inexact point-spread function]. *Avtometriya – Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2006, no. 6, pp. 13–22. (In Russian).
10. Voskoboinikov Yu.E. *Ustoychivye algoritmy resheniya obratnykh izmeritel'nykh zadach* [Stable algorithms for inverse problems solving]. Novosibirsk, NGASU (Sibstrin) Publ., 2007. 184 p.
11. Huang T.S., ed. *Two-dimensional digital signal processing II: transforms and median filters*. Berlin, Heidelberg, New York, Springer-Verlag, 1981. 224 p.

(Russ. ed.: *Bystrye algoritmy v tsifrovoi obrabotke izobrazhenii: preobrazovaniya i mediannye fil'try*. Ed. by T.S. Khuang. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1984. 224 p.).

12. Voskoboinikov Yu.E., Balanchuk T.T. *Teoriya veroyatnostei i matematicheskaya statistika (s primerami v Excel)* [Theory of probability and mathematical statistics]. Novosibirsk, NGASU (Sibstrin) Publ., 2016. 200 p.

13. Bronnikov A.V., Voskoboinikov Yu.E. Nelineinye kombinirovannyye algoritmy fil'tratsii zashumlennykh signalov i izobrazheniya [Non-linear combined filtration algorithms of noise-contaminated signals and images]. *Avtometriya – Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 1990, no. 1, pp. 21–28. (In Russian).

14. Voskoboinikov Yu.E. Otsenivanie optimal'nykh parametrov prostranstvenno-lokal'nykh algoritmov fil'tratsii signalov [Optimal parameter estimation of spatial-local signal filtering algorithms]. *Avtometriya – Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 13–21. (In Russian).

15. Boeva V.A., Syrenov S.V. [Stable algorithm of non-parametric identification in case of noise-contaminated input and output signals]. *Materialy XI Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii “Aktual'nye voprosy arkhitektury i stroitel'stva”* [Materials of the XI All-Russian Scientific and Technical Conference “Relevant problems of architecture and construction”]. Novosibirsk, NGASU (Sibstrin) Publ., 2018, pp. 188–193. (In Russian).

16. Voskoboinikov Yu.E. Fil'tratsiya anomal'nykh izmerenii: kakoi algoritm luchshe? [Which algorithm is better for abnormal measurements filtering?]. *Trudy NGASU – NGASU Proceedings*, 2018, vol. 21, no. 4 (70), pp. 88–101.

17. Voskoboinikov Yu.E., Boeva V.A. Issledovanie effektivnosti predfil'tratsii vykhodnogo signala pri neparametricheskoi identifikatsii [The observation of the output signal pre-filtering efficiency in the case of non-parametric identification]. *Avtomatika i programmaya inzheneriya – Automatics & Software Engineering*, 2018, no. 4 (26), pp. 67–76.

Для цитирования:

Боева В.А. Эффективность локально-пространственной фильтрации зашумленных сигналов в задачах идентификации // Сборник научных трудов НГТУ. – 2019. – № 3–4 (96). – С. 7–16. – DOI: 10.17212/2307-6879-2019-3-4-7-16.

For citation:

Boeva V.A. Effektivnost' lokal'no-prostranstvennoi fil'tratsii zashumlennykh signalov v zadachakh identifikatsii [The efficiency of local-spatial filtration valid for noise-contaminated signals in identification problems]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 3–4 (96), pp. 7–16. DOI: 10.17212/2307-6879-2019-3-4-7-16.