

УДК 519.24

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В СРЕДЕ SIMULINK. ЧАСТЬ 2*

Г.В. ТРОШИНА

630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники. E-mail: troshina@dean.cs.nstu.ru

Построение математической модели динамического объекта обеспечивает имитацию работы динамической системы на уровне, очень близком к реальному поведению объекта при его испытаниях. Как правило, в качестве критерия корректности модели принимают малую погрешность результатов моделирования. Блочная или, другими словами, функциональная диаграмма динамической системы, содержащая все компоненты в виде отдельных блоков и подсистем с соответствующим описанием их свойств, представляет собой модель динамического объекта или устройства. С помощью пакета Simulink можно выполнить моделирование блочных динамических систем и наглядно представить результаты моделирования. Пакет Simulink дает возможность выполнить различные варианты имитационного моделирования, например, во временной или в частотной области, с использованием спектрального преобразования Фурье или на основе метода Монте-Карло. Библиотека компонентов включает источники сигналов с различными функциональными и временными воздействиями, линейные и нелинейные преобразователи, интегрирующие и дифференцирующие блоки. Библиотека блочных компонентов используется для формирования функциональной блок-схемы моделируемой динамической системы. При этом необходимо организовать связи между компонентами построенной системы и выполнить установку начальных параметров. Задание в блоках модели динамического объекта математических выражений позволяет решать типовые задачи и является одним из важных достоинств пакета Simulink. С помощью пакета Simulink можно автоматизировать наиболее трудоемкий этап моделирования, заключающийся в решении системы дифференциальных уравнений, описывающей заданную функциональную модель. В данной работе описываются некоторые источники воздействий, наиболее часто используемые при моделировании динамических систем.

Ключевые слова: математическая модель, идентификация, динамическая система, пространство состояний, моделирование, синусоидальный сигнал, единичный импульс, случайный сигнал

DOI: 10.17212/2307-6879-2015-4-31-41

*Статья получена 29 сентября 2015 г.

ВВЕДЕНИЕ

В работах [1–19] рассматриваются различные методы оценивания неизвестных параметров динамических объектов при наличии помех динамики и измерителя. Данная статья является логическим продолжением работы [20]. В работах [21–22] сделан краткий обзор некоторых типов случайных процессов. В данной работе рассматриваются вопросы моделирования источников входных сигналов для динамических систем с помощью пакета Simulink.

1. ПОСТРОЕНИЕ ОБЪЕКТА В ПРОСТРАНСТВЕ СОСТОЯНИЙ

В работе [20] приведено построение в пакете Simulink динамической системы в пространстве состояний для следующего объекта:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad z(t) = Cx(t),$$

где $x(t)$ – вектор состояния с нулевым математическим ожиданием и неотрицательно определенной ковариационной матрицей P в начальный момент времени; A и B – матрицы состояния и управления соответственно; C – матрица наблюдения; $z(t)$ – вектор наблюдения. Заданы следующие параметры системы:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1/3 & -4/3 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ 10/3 \end{pmatrix}, \quad C = \begin{pmatrix} 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Наблюдатель описывается уравнением

$$\dot{\hat{x}} = A\hat{x} + Bu + L(y - C\hat{x}),$$

где $\hat{x}$ – оценка вектора состояния x ; L – матрица наблюдателя. Для рассматриваемого примера имеем $L = \begin{pmatrix} 56/3 \\ 673/9 \end{pmatrix}$. На рис. 1 показан результат моделирования объекта и наблюдателя в среде Simulink [20].

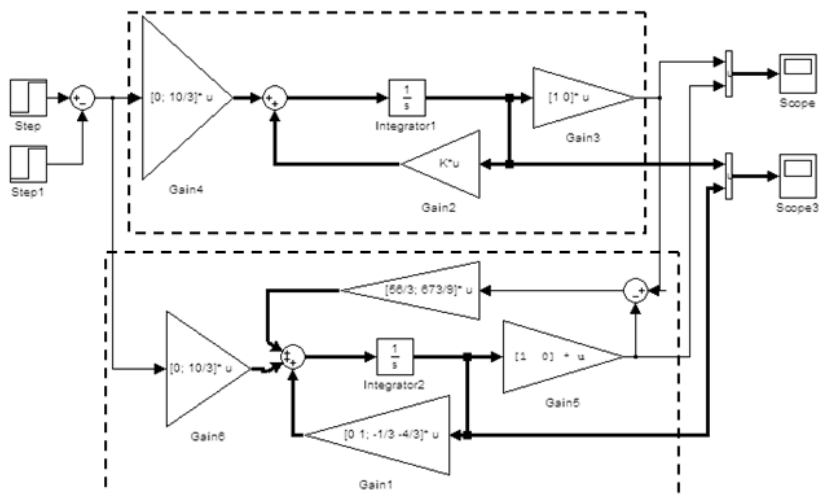


Рис. 1. Объект и схема соединения компонентов наблюдателя

Рассмотрим более подробно способы формирования источников входных сигналов и шумовых воздействий.

2. ПОСТРОЕНИЕ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ

В разделе Sources библиотеки Simulink представлены пиктограммы источников входных воздействий различного характера. На рис. 2 показан источник постоянного воздействия Constant, в котором для вектора параметров установлены следующие значения: $[-1 \ 0 \ 1]$. По умолчанию уровень воздействия задан в виде константы, равной единице. При установленном флаге у параметра Interpret vector parameters as 1-D имеем одномерный вектор. На рис. 3 показан источник входного воздействия в виде «ступеньки».

Одним из самых распространенных сигналов является синусоидальный сигнал. На рис. 4 показаны параметры синусоидального входного сигнала. Источник нарастающего сигнала Ramp определяется по формуле $F(t) = k \cdot t + i$. На рис. 5 заданы параметры сигнала Ramp.

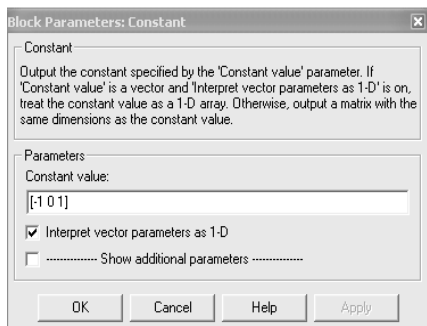
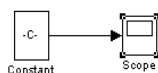


Рис. 2. Источник постоянного воздействия

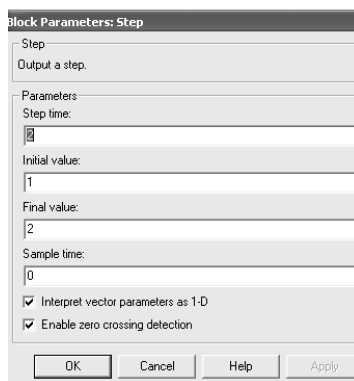
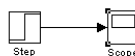


Рис. 3. Входной сигнал Step

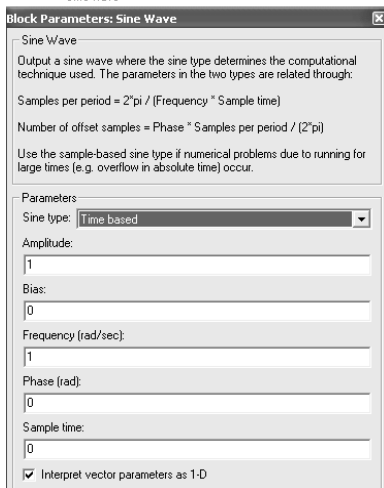
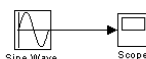


Рис. 4. Синусоидальное воздействие

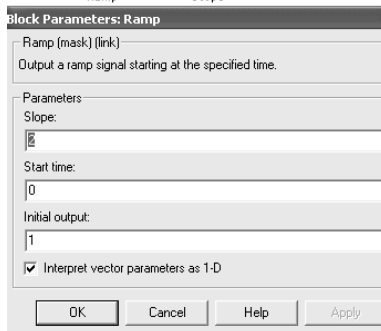
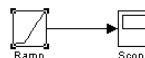


Рис. 5. Параметры сигнала Ramp

Для создания прямоугольных импульсов используется источник Pulse Generator (рис. 6). Для построения случайного сигнала с нормальным распределением используется источник Random Number (рис. 7).

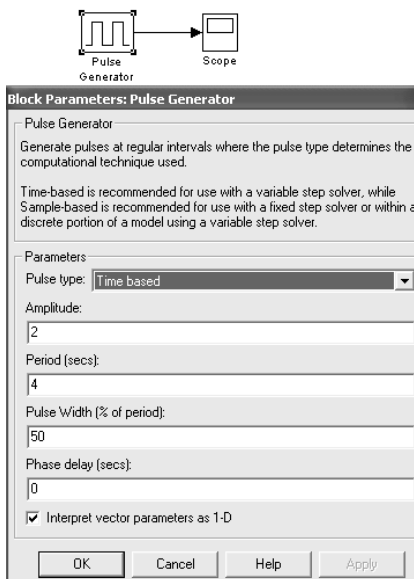


Рис. 6. Источник Pulse Generator

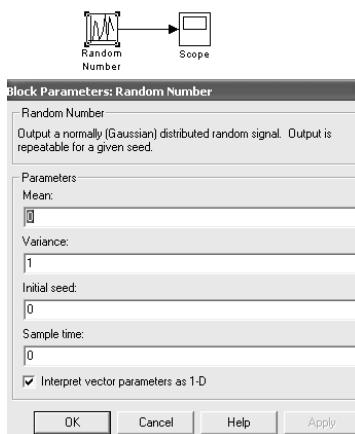


Рис. 7. Случайный сигнал Random Number

Различные типы входных сигналов были использованы при моделировании динамической системы в пространстве состояний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе представлены способы формирования параметров различных источников входных сигналов для модели в пространстве состояний. В работе [19] показано применение методов активной идентификации для системы управления перевернутым маятником.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Острем К.* Введение в стохастическую теорию управления. – М.: Мир, 1973. – 320 с.
2. *Льюнг Л.* Идентификация систем: теория для пользователя / под ред. Я.З. Цыпкина. – М.: Наука, 1991. – 432 с.
3. *Эйкхофф П.* Основы идентификации систем управления. – М.: Мир, 1975. – 683 с.
4. *Медич Дж.* Статистически оптимальные линейные оценки и управление. – М.: Энергия, 1973. – 440 с.
5. *Сейдж Э.П., Мелса Дж.* Теория оценивания и ее применение в связи и управлении. – М.: Связь, 1976. – 495 с.
6. *Mehra R.K.* Optimal input signal for parameter estimation in dynamic system – survey and new results // IEEE Transactions on Automatic Control. – 1974 – Vol. AC-19, N 6. – P. 753–768.
7. *Mehra R.K.* On the identification of variances and adaptive Kalman filtering // IEEE Transactions on Automatic Control. – 1970. – Vol. AC-15, N 2. – P. 175–184.
8. *Воевода А.А., Трошина Г.В.* Оценивание параметров моделей динамики и наблюдения для линейных стационарных дискретных систем с использованием информационной матрицы Фишера // Научный вестник НГТУ. – 2006. – № 3 (24). – С. 199–200.
9. *Трошина Г.В.* Активная идентификация линейных динамических дискретных стационарных объектов во временной области: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск, 2007. – 171 с.
10. *Трошина Г.В.* Вычислительные аспекты задачи восстановления вектора состояния для модели с неточно заданными параметрами // Сборник научных трудов НГТУ. – 2008. – № 3 (53). – С. 25–34.
11. *Воевода А.А., Трошина Г.В.* Вычисление информационной матрицы Фишера для линейных стационарных дискретных систем с неизвестными параметрами в моделях динамики и наблюдения // Сборник научных трудов НГТУ. – 2006. – № 2 (44). – С. 29–34.
12. *Трошина Г.В.* D-оптимальный план эксперимента в задачах активной идентификации по данным установившегося режима для линейных стационарных дискретных систем // Наука. Промышленность. Оборона: труды VII всероссийской научно-технической конференции. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – С. 445–449.
13. *Трошина Г.В.* О методах оценивания вектора состояния в задачах идентификации // Сборник научных трудов НГТУ. – 2012. – № 1 (67). – С. 69–78.

14. Voevoda A.A., Troshina G.V. Active identification of linear stationary dynamic object on base of the Fisher information matrix: the steady state // Proceedings of the XII International Conference "Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE-2014)", Novosibirsk, Russia, 2–4 October 2014. – Novosibirsk, 2014. – P. 745–749. – doi: 10.1109/APEIE.2014.7040785.
15. Воевода А.А., Трошина Г.В. О некоторых методах фильтрации в задаче идентификации // Сборник научных трудов НГТУ. – 2014. – № 2 (76). – С. 16–25.
16. Трошина Г.В. Об использовании фильтра Калмана при идентификации динамических систем // Сборник научных трудов НГТУ. – 2014. – № 3 (77). – С. 37–52.
17. Трошина Г.В. Об активной идентификации динамических объектов // Сборник научных трудов НГТУ. – 2014. – № 4 (78). – С. 41–52. – doi: 10.17212/2307-6879-2014-4-41-52.
18. Воевода А.А., Трошина Г.В. Об оценке вектора состояния и вектора параметров в задаче идентификации // Сборник научных трудов НГТУ. – 2014. – № 4 (78). – С. 53–68. – doi: 10.17212/2307-6879-2014-4-53-68.
19. Troshina G.V., Voevoda A.A. Parameters estimation with Fischer information matrix on the example of the control system of the inverted pendulum // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2015): proceedings, Omsk, Russia, 21–23 May 2015. – Omsk, 2015. – P. 1–4. – doi: 10.1109/SIBCON.2015.7147243.
20. Трошина Г.В. Моделирование динамических объектов в среде Simulink. Ч. 1 // Сборник научных трудов НГТУ. – 2015. – № 3 (81). – С. 55–68. – doi: 10.17212/2307-6879-2015-3-55-68.
21. Рева И.Л., Трошина Г.В. Белый шум в задаче идентификации // Сборник научных трудов НГТУ. – 2015. – № 1 (79). – С. 7–22. – doi: 10.17212/2307-6879-2015-1-7-22.
22. Рева И.Л., Воевода А.А., Трошина Г.В. О некоторых типах случайных процессов // Сборник научных трудов НГТУ. – 2015. – № 2 (80). – С. 45–55. – doi: 10.17212/2307-6879-2015-2-45-55.

Воевода Александр Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры автоматики Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – управление многоканальными объектами. Имеет более 200 публикаций. E-mail: ucit@ucit.ru

Трошина Галина Васильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – идентификация динамических объектов. Имеет более 50 публикаций. E-mail: troshina@dean.cs.nstu.ru

The dynamic objects modelling in Simulink environment. Part 2^{*}

G.V. Troshina

Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, candidate of Technical Sciences, associate professor of the computer engineering department. E-mail: troshina@dean.cs.nstu.ru

The dynamic object mathematical model construction provides the dynamic system work imitation at the level very close to real behavior of object at his tests. As a rule, as criterion of a model correctness accept a small error of the modeling results. Block or, in other words, the functional chart of dynamic system containing all components in the form of separate blocks and subsystems with the corresponding description of their properties represents model of the dynamic object or the device. By means of a Simulink package it is possible to execute the block dynamic systems modeling and to visually present the modeling results. The Simulink package gives the chance to execute various options of the imitating modeling, for example, in the time domain or in the frequency domain, with use of the Fourier spectral transformation or on the basis of the Monte-Carlo method. The components library includes sources of signals with the various functional and time actions, the linear and nonlinear converters, the integrating and differentiating blocks. The block components library is used for formation of the functional flowchart of the dynamic system model. At the same time it is necessary to organize communications between components of the constructed system and to execute installation of initial parameters. The mathematical expressions in the blocks of the dynamic object model allows to solve standard problems and is one of important advantages of a Simulink package. By means of a Simulink package it is possible to automate the most labor-consuming stage of modeling consisting in the decision of the differential equations system describing the functional model. In this work some sources of signals which are most often used at the dynamic systems modeling are described.

Keywords: mathematical model, identification, dynamic system, state space, modeling, sinusoidal signal, single impulse, stochastic signal

DOI: 10.17212/2307-6879-2015-4-31-41

REFERENCES

1. Åström K.J. *Introduction to stochastic control theory*. New York, London, Academic Press, 1970. 298 p. (Russ. ed.: Ostrem K. *Vvedenie v stokhasticheskuyu teoriyu upravleniya*. Translated from English. Moscow, Mir Publ., 1973. 320 p.).
2. Ljung L. *System identification: theory for the user*. New Jersey, Prentice Hall, 1987. 384 p. (Russ. ed.: L'yung L. *Identifikatsiya sistem. Teoriya dlya pol'zovatelya*. Translated from English. Moscow, Nauka Publ., 1991. 432 p.).
3. Eykhoff P. *System identification: parameter and state estimation*. London, John Wiley & Sons, 1974. 555 p. (Russ. ed.: Eikkhoff P. *Osnovy identifikatsii sis-*

^{*} Received 29 September 2015.

tem upravleniya: otsenivanie parametrov i sostoyaniya. Translated from English. Moscow, Mir Publ., 1975. 680 p.).

4. Meditch J.S. *Stochastic optimal linear estimation and control*. New York, McGraw-Hill, 1969. 384 p. (Russ. ed.: Medich Dzh. *Statisticheski optimal'nye lineinye otsenki i upravlenie*. Translated from English. Moscow, Energiya Publ., 1973. 440 p.).

5. Sage A.P., Melse J.L. *Estimation theory with application to communication and control*. New York, McGraw-Hill, 1972. 540 p. (Russ. ed.: Seidzh E.P., Melsa Dzh. *Teoriya otsenivaniya i ee primeneniye v svyazi i upravlenii*. Translated from English. Moscow, Svyaz' Publ., 1976. 495 p.).

6. Mehra R.K. Optimal input signal for parameter estimation in dynamic system – survey and new results. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1974, vol. AC-19, no. 6, pp. 753–768.

7. Mehra R.K. On the identification of variances and adaptive Kalman filtering. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 1970, vol. AC-15, no. 2, pp. 175–184.

8. Voevoda A.A., Troshina G.V. Otsenivanie parametrov modelei dinamiki i nablyudeniya dlya lineinykh statsionarnykh diskretnykh sistem s ispol'zovaniem informatsionnoi matritsy Fishera [Parameters estimation of dynamics and supervision models for linear stationary discrete systems with use of Fischer information matrix]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2006, no. 3 (24), pp. 199–200.

9. Troshina G.V. *Aktivnaya identifikatsiya lineinykh dinamicheskikh diskretnykh statsionarnykh ob"ektov vo vremennoi oblasti*. Diss. kand. tekhn. nauk [Active identification of linear dynamic discrete stationary objects in a time domain. PhD eng. sci. diss.]. Novosibirsk, 2007. 171 p.

10. Troshina G.V. Vychislitel'nye aspekty zadachi vosstanovleniya vektora sostoyaniya dlya modeli s netochno zadannymi parametrami [Computing aspects of problem of the state vector recovering for models with inexact given parameters]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2008, no. 3 (53), pp. 25–34.

11. Voevoda A.A., Troshina G.V. Vychislenie informatsionnoi matritsy Fishera dlya lineinykh statsionarnykh diskretnykh sistem s neizvestnymi parametrami v modelyakh dinamiki i nablyudeniya [Fischer information matrix calculation for linear stationary discrete systems with unknown parameters in dynamics and supervision models]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2006, no. 2 (44), pp. 29–34.

12. Troshina G.V. [D-optimum design of experiment in active identification problems on base of steady state for single-line stationary discrete systems]. *Trudy VII vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Nauka. Promyshlennost'. Oborona"* [Proceedings of the VII All-Russian Scientific and Technical Conference "Science. Industry. Defence"], Novosibirsk, 2006, pp. 445–449. (In Russian)

13. Troshina G.V. O metodakh otsenivaniya vektora sostoyaniya v zadachakh identifikatsii [About state vector estimation methods in identification problems]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2012, no. 1 (67), pp. 69–78.

14. Voevoda A.A., Troshina G.V. Active identification of linear stationary dynamic object on base of the Fisher information matrix: the steady state. *Proceedings of the XII International Conference "Actual problems of electronic instrument engineering (APEIE–2014)"*, Novosibirsk, Russia, 2–4 October 2014, pp. 745–749. doi: 10.1109/APEIE.2014.7040785

15. Voevoda A.A., Troshina G.V. O nekotorykh metodakh fil'tratsii v zadache identifikatsii [About some filtration methods in the identification problem]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2014, no. 2 (76), pp. 16–25.

16. Troshina G.V. Ob ispol'zovanii fil'tra Kalmana pri identifikatsii dinamicheskikh sistem [About Kalman filter using for dynamic systems identification]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2014, no. 3 (77), pp. 37–52.

17. Troshina G.V. Ob aktivnoi identifikatsii dinamicheskikh ob"ektov [About active identification of dynamic objects]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2014, no. 4 (78), pp. 41–52. doi: 10.17212/2307-6879-2014-4-41-52

18. Voevoda A.A., Troshina G.V. Ob otsenke vektora sostoyaniya i vektora parametrov v zadache identifikatsii [About parameters vector estimation and state vector estimation in identification problem]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2014, no. 4 (78), pp. 53–68. doi: 10.17212/2307-6879-2014-4-53-68

19. Troshina G.V., Voevoda A.A. Parameters estimation with Fischer information matrix on the example of the control system of the inverted pendulum. *International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON–2015): proceedings*, Omsk, Russia, 21–23 May 2015, pp. 1–4. doi: 10.1109/SIBCON.2015.7147243

20. Troshina G.V. Modelirovanie dinamicheskikh ob"ektov v srede Simulink. Ch. 1 [The dynamic objects modelling in Simulink environment. Pt. 1]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2015, no. 3 (81), pp. 55–68. doi: 10.17212/2307-6879-2015-3-55-68

21. Reva I.L., Troshina G.V. Belyi shum v zadache identifikatsii [White noise in the identification problem]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2015, no. 1 (79), pp. 7–22. doi: 10.17212/2307-6879-2015-1-7-22

22. Reva I.L., Voevoda A.A., Troshina G.V. O nekotorykh tipakh sluchainykh protsessov [About some types of the stochastic processes]. *Sbornik nauchnykh trudov Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transaction of scientific papers of the Novosibirsk state technical university*, 2015, no. 2 (80), pp. 45–55. doi: 10.17212/2307-6879-2015-2-45-55