

УДК 33

Исследование организационно-экономических параметров работы робота-манипулятора в среде динамического моделирования языка Modelica

Комарова Наталья Васильевна

Кандидат технических наук, доцент,
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
125993, Российская Федерация, Москва, шоссе Волоколамское, 4;
e-mail: komarova_n_v2001@mail.ru

Тихомирова Анастасия Михайловна

Кандидат экономических наук, старший преподаватель,
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
125993, Российская Федерация, Москва, шоссе Волоколамское, 4;
e-mail: kmrik1@yandex.ru

Аннотация

Работа посвящена исследованию компонентного подхода для построения объекта управления механических взаимодействий по физическому описанию на основе языка динамического моделирования Modelica, т.е. создания модели робота-манипулятора. Актуальность исследуемой темы состоит в том, что роботы-манипуляторы выполняют работы в средах, недоступных и опасных для человека, например, на подводных глубинах, в вакууме, в радиоактивной или другой агрессивной среде, либо выполняя монотонные и повторяющиеся операции в массовом производстве. Это особенно актуально в настоящее время, т.к. основной чертой начинающейся четвертой промышленной революции является широкая роботизация производственных процессов. Представлены два варианта разработки и моделирования робота. Реализованная модель позволяет проводить проверку правильности расчетов сигнала управления и дать оценку влияния погрешности. Проведено моделирование с использованием моделей. Получены графики по каждому организационному параметру. Выбран вариант для организации массового машиностроительного производства. Определены нормы времени на микроэлементы при использовании ручного производства и проведено сравнение с автоматизированным. Показан рост производительности труда при использовании роботов и определены показатели экономической эффективности роботизации труда.

Для цитирования в научных исследованиях

Комарова Н.В., Тихомирова А.М. Исследование организационно-экономических параметров работы робота-манипулятора в среде динамического моделирования языка Modelica // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2018. Том 8. № 12А. С. 477-484.

Ключевые слова

Автоматизация, робот-манипулятор, организация производства, моделирование, язык Modelica, объектно-ориентированное программирование, нормы времени, микроэлементное нормирование, производительность труда.

Введение

Актуальность исследуемой темы состоит в том, что роботы манипуляторы выполняют работы в средах недоступных и опасных для человека, например, на подводных глубинах, в вакууме, в радиоактивной или другой агрессивной среде, либо выполняя монотонные и повторяющиеся операции в массовом производстве. Это особенно актуально в настоящее время, т.к. основной чертой начинающейся четвертой промышленной революции является широкая роботизация производственных процессов [Замковой, 2018, 14].

Описание подхода к моделированию на основе динамического моделирования и языка Modelica

В качестве инструментария создания модели использован пакет Open Modelica, т.к. он является открытым средством для ориентированного моделирования среды, которые предназначены для промышленных и научных исследований.

Попытки разработки языка Modelica [Modelica and the Modelica Association, 2008, www] начались в 1996 году в рамках одной из задач проекта ESPRIT (Simulation in Europe Basic Research Working Group) с целью разработки стандартизированного языка моделирования для применения в различных сферах жизнедеятельности. Первая спецификация языка Modelica была опубликована в 1997 году организацией *Modelica Association*.

В конце 2010 года, вышел продукт под названием OMEdit (или OpenModelica Connection Editor). Это полностью свободно распространяемая полноценная среда для моделирования, основанная на OpenModelica.

В основе языка Modelica лежит объектно-ориентированный подход к моделированию, использующие принципы объектно-ориентированного программирования (ООП) [Looye, 2008]. Таким образом, использована методология программирования, основанная на представлении программы в виде совокупности объектов, каждый из которых является экземпляром определенного класса, а классы образуют иерархию наследования. Согласно принципам ООП, язык моделирования Modelica обладает тремя свойствами: инкапсуляция, наследование, полиморфизм. Инкапсуляция — это сокрытие данных от внешнего мира и обеспечение взаимодействия по жестко описанным правилам и с четко обозначенными параметрами. Полиморфизм – возможна одна реализация для разного типы входных и выходных данных. Наследование – механизм, позволяющий потомкам использовать свойства предков (переменные, методы).

Объектно-ориентированное моделирование (ООМ) обладает возможностью совместного использования кода, что уменьшает повторение частей кода и облегчает его поддержку.

На данный момент на базе Modelica создано довольно большое количество различных библиотек, не считая стандартной библиотеки (Modelica Standard Library), которая включает в себя богатый набор элементов для моделирования электротехники (аналоговой, цифровой, электродвигателей), механики (1D/3D), термодинамических, гидравлических систем,

магнитных явлений, систем управлений и карт состояний. Библиотеки предоставляются с двумя типами лицензий: бесплатной (около 20 библиотек) и коммерческой (около 10 библиотек).

Мощным средством Modelica [Kolesov, 2012] является ограниченный специальный класс connector, который объявляется как набор переменных без раздела с уравнениями или алгоритмами. Коннектор специфицирует связи между компонентами (моделями). Соответствующий коннектор – это обычно первая вещь, которая определяется при создании модели или библиотеки элементов. Переходы между областями физики (механика, электротехника, гидравлика и т.д.), как правило, осуществляются включением различных типов коннекторов в модель. Соединение из двух коннекторов автоматически создает уравнение, которое рассматривается как связь между двумя компонентами. Другие средства связи также существуют, через глобальные переменные или между уровнями модели, но соединение коннекторов является стандартным интерфейсом.

Моделирование параметров работы робота-манипулятора

Рассмотрим два варианта создания робота-манипулятора для того, чтобы более детально провести проверку правильности расчетов сигнала управления и дать оценку влияния погрешности [Комарова, 2016, 10].

Для создания робота-манипулятора на основе прототипа двойного маятника использовались типовые компоненты библиотеки OpenModelica, такие как World, Revolute, boxBody, damper, connection.

Элемент “World” показывает, что используется мировая система координат + гравитационное поле + определение анимации по умолчанию.

Вращательный элемент “Revolute” определяет вращательное соединение (2 потенциальных состояния, дополнительная ось).

Элемент тела “BodyBox” представляет из себя твердое тело в форме коробки. При желании BodyBox может быть полым. Внешняя форма BodyBox по умолчанию используется в анимации

Элемент для линейного вращения заслонки “Damper”. Линейное 1D вращение заслонки. Линейная скорость заслонки зависит от элемента. Это может быть использование подсистемы из библиотеки либо соединения между инерцией или шестерней и корпусом (компонент Fixed), или между двумя элементами инерции/передач.

В отличие от управления с обратной связью, которое чаще всего используется в машиностроении, программное управление воспроизводит заранее заданную последовательность значений. Преимуществом является отсутствие датчиков, простота и надежность системы [Зубинский, 2012]. Недостатком выступает накопление ошибок управления, из-за чего через некоторое число циклов необходимо механически обнулять положение робота (вращать до упора все электроприводы). Модель, подобная полученной, нужна для проверки правильности расчетов сигнала управления и оценки влияния погрешностей (через какое число циклов нужно сбрасывать положение приводов) [Миускова, 2017, 18]. Назовем эту модель вариантом №1.

В качестве варианта 2 будем использовать модель робота с шестью степенями свободы (см.рис.1), доступ к которому обеспечивается по следующему пути:

Modelica/Mechanics/Multybody/Examples/Systems/RobotsR3/fullRobot

При создании данной модели использовались такие типовые компоненты библиотеки OpenModelica, как pathPlanning, controlBus, axis от 6 до 1, mechanics [Косенко, 2012, 152].

Элемент `pathPlanning` позволяет сгенерировать опорные углы для быстрого кинематического перемещения с учетом:

- начального и конечного угла оси;
- максимальной скорости оси;
- максимального ускорения оси.

Фаза ускорения, постоянной скорости и замедления определяется таким образом, что движение начинается с начальных углов и заканчивается на конечных углах. Выход этого блока вычисленных углов, угловые скорости и угловое ускорение, и эта информация хранятся в качестве опорного движения на шине управления роботом – элемент `controlBus`.

Шина данных — это часть системной шины, предназначенная для передачи данных между компонентами компьютера. В компьютерной технике принято различать выводы устройств по назначению: одни для передачи информации, другие для сообщения всем устройствам, кому эти данные предназначены.

Сигнальная шина, которая используется для передачи всех сигналов робота. Это расширяемый разъем, который имеет набор сигналов по умолчанию. Входные/выходные причинно-следственные связи сигналов определяются по подключениям к этой шине.

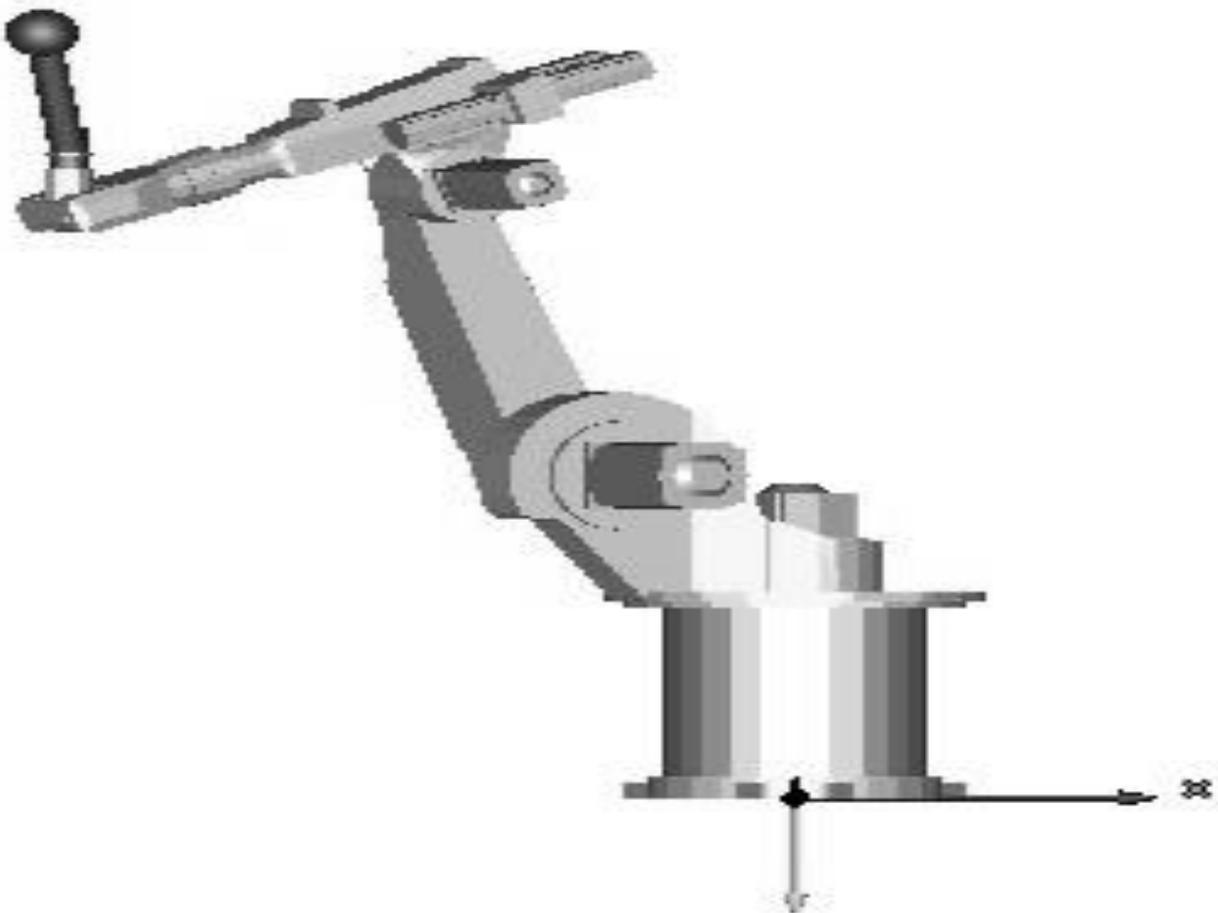


Рисунок 1 - Модель 2

Модель оси 1, 2, 3 робота состоит из редуктора с эластичностью моделируемого редуктора и трением подшипника, моделью электродвигателя и контроллером непрерывного каскада.

Модель осей соединений 4, 5, 6 состоит из контроллера, двигателя, включая контроллер тока и редуктор, включая упругость передачи и трение подшипника. Единственное отличие от оси модели соединений 4,5,6 (= model axisType2) заключается в том, что эластичность и демпфирование в коробках передач не игнорируются.

Входными сигналами этого компонента являются желаемый угол и желаемая угловая скорость сустава. Опорные сигналы должны быть «гладкими» (позиция должна быть дифференцируемой не менее 2 раз). В противном случае эластичность шестерни приводит к значительным колебаниям.

Модель механической части робота (элемент Mechanics) содержит механические компоненты робота r3 (многодиапазонная система).

Исследование результатов моделирования организационно-экономических параметров работы робота манипулятора

В ходе работы были проведены эксперименты с получившимися моделями. Получены следующие результаты реакции системы при установленных параметрах, для модели №1.

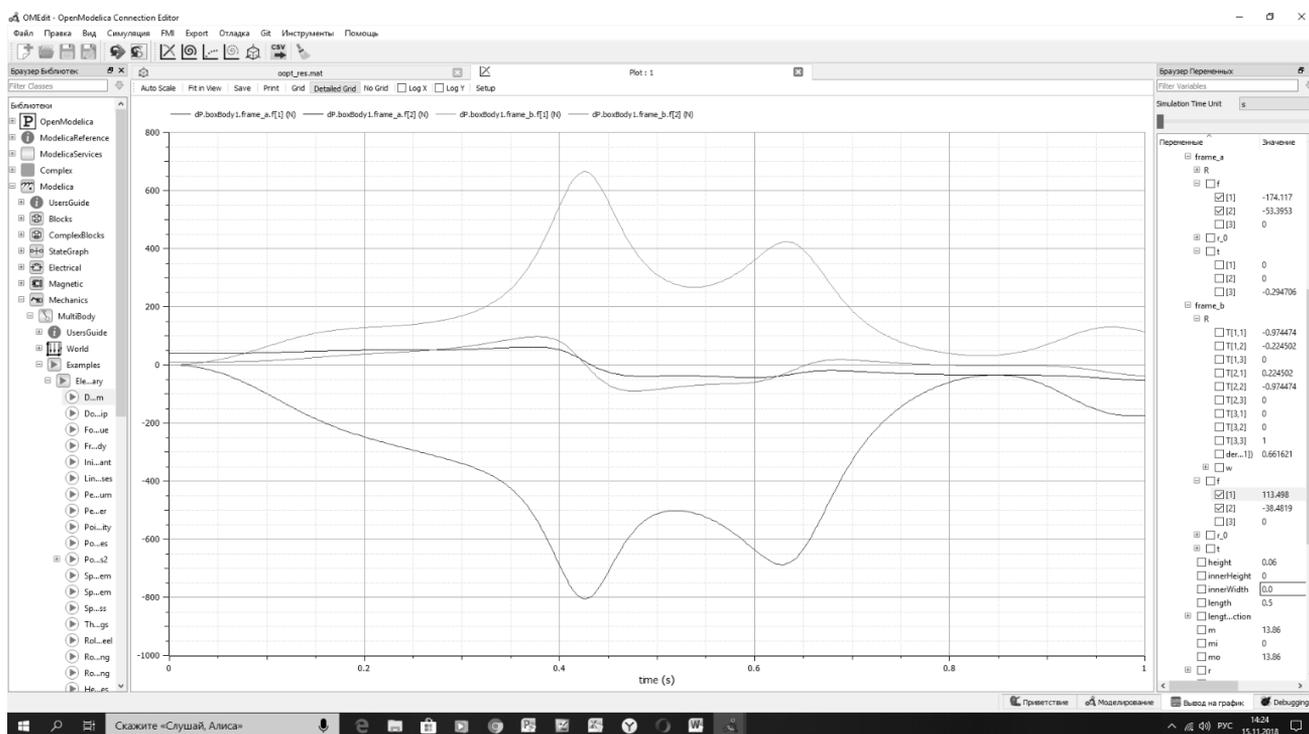


Рисунок 2 - Реакция системы при использовании модели 1

Так, на рисунках показаны изменения усилия отклонения для соединителя frame_a (по оси x красная линия, а по оси y синяя, для соединителя frame_b, соответственно, салатная и сиреневая).

Как видим из представленных схем, модель 2 обеспечивает большую точность, но является более дорогой в исполнении. По результатам моделирования для роботизации работ в массовом производстве на сборочном конвейере лучше использовать модель 1. Расчет нормы времени на выполнение этих операций вручную подсчитан с использованием микроэлементного

нормирования по формулам, представленным в предыдущих работах авторов [Комарова, Тихомирова, 2017, 10].

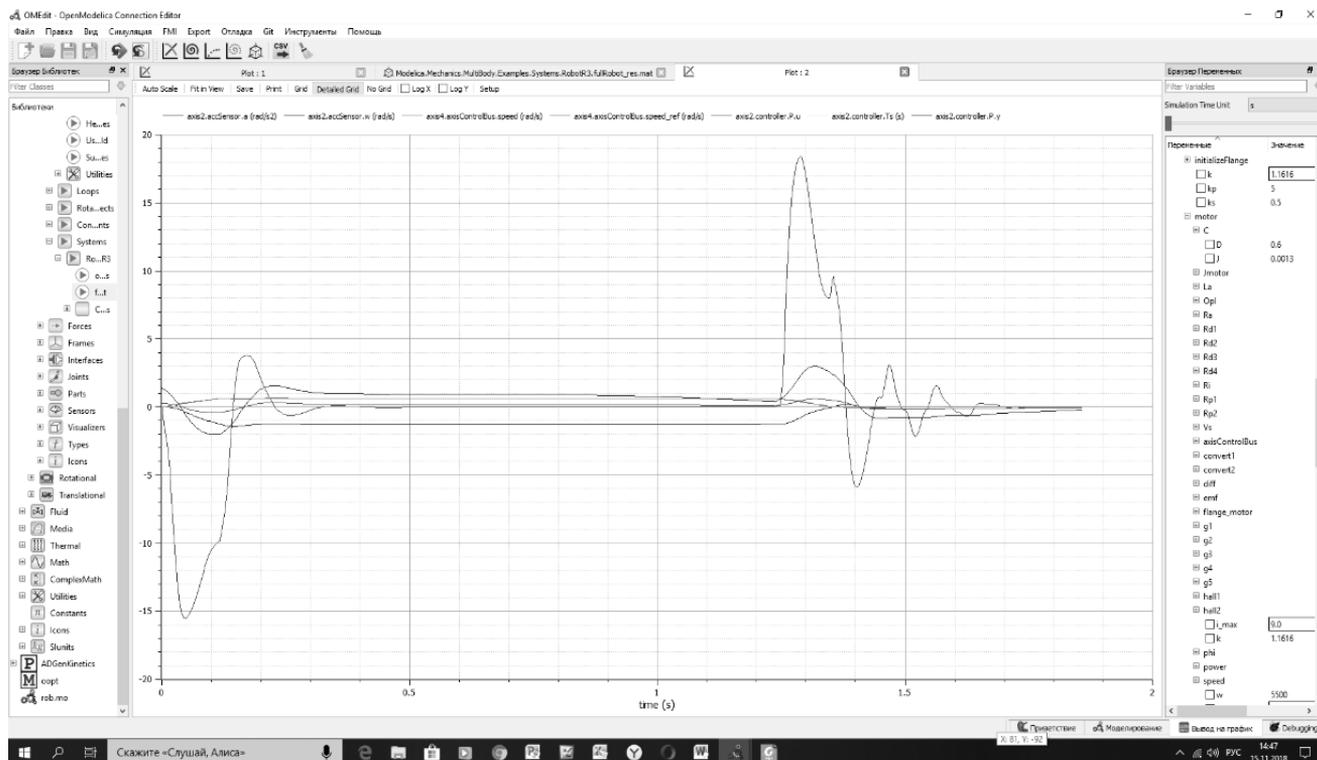


Рисунок 3 - Реакция системы по модели 2 по узлу 2

Сравнение данных норм времени с теми, что связаны с автоматизацией, показывает, что автоматизация позволяет повысить производительность труда на 30%. Чистый дисконтированный доход от использования робота составит 58 тысяч Р в течение четырех лет эксплуатации при ставке дисконтирования равной 12%. Срок окупаемости инвестиций в предлагаемый проект составит 1 год и 2 месяца.

Заключение

В результате выполнения работы были разработаны модели робота-манипулятора в среде Open Modelica. Реализованная модель позволяет проводить проверку правильности расчетов сигнала управления и дать оценку влияния погрешностей, а также с помощью данных моделей можно оценить рост производительности труда и эффективности производства с использованием роботизации и автоматизации.

Преимуществом является отсутствие датчиков, простота и надежность системы. Недостатком – накопление ошибок управления, из-за чего через некоторое число циклов необходимо механически обнулять положение робота (вращать до упора все электроприводы).

Рекомендована модель 2 для работы на сборочных конвейерах массового производства. Расчет таких показателей экономической эффективности как чистый дисконтированный доход и срок окупаемости показал, что проект является успешным. Таким образом, гипотеза исследования доказана.

Библиография

1. Замковой А.А., Комарова Н.В., Тихомирова А.М. Моделирование принятия организационных решений по оптимизации трудовых процессов в машиностроении // Станки и инструменты. 2017. №10. С. 13-17.
2. Зубинский А. Modelica // Компьютерное обозрение. 2018. №8(625). URL: http://ko.com.ua/modelica_346229.pdf
3. Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Имитационное моделирование сложных динамических систем. 2012. URL: http://www.exponenta.ru/soft/others/mvs/ds_sim.asp
4. Комарова Н.В., Тихомирова А.М. Метод оптимизации пооперационного разделения труда на сборочном конвейере машиностроительного предприятия // Экономика и управление в машиностроении. Актуальные издательские решения. 2017. №6. С. 9-11.
5. Комарова Н.В. Перспективы оптимизации трудовых процессов на предприятиях авиационной промышленности // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2016. №8 (ч.2). С. 8-11.
6. Косенко И.И. Моделирование и виртуальное прототипирование. М.: Альфа, ИНФРА-М, 2012. 176 с.
7. Миускова Р.П., Комарова Н.В. Проблемы и методы совершенствования организации и нормирования труда как существенный резерв повышения производительности на промышленных предприятиях // Нормирование и оплата труда в промышленности. 2017. № 1. С. 16-21.
8. Modelica and the Modelica Association. URL: <https://www.modelica.org>
9. Looye G. et al. Nonlinear Inverse Models for Control // Proceedings of 4th International Modelica Conference. Hamburg, 2008. P. 267-279.
10. Tikhomirova A.M. et al Optimizing Labor Resources at Manufacturing Enterprises // Russian Engineering Research. 2018. Vol. 38. No. 4. P. 301-304.

Research of robot manipulator`s organizational and economic parameters in the environment of dynamic modeling language Modelica

Natal'ya V. Komarova

PhD in Technical Science, Associate Professor,
Moscow Aviation Institute (National Research University),
125993, 4, Volokolamskoye highway, Moscow, Russian Federation;
e-mail: komarova_n_v2001@mail.ru

Anastasiya M. Tikhomirova

PhD in Economics, Senior Lecturer,
Moscow Aviation Institute (National Research University),
125993, 4, Volokolamskoye highway, Moscow, Russian Federation;
e-mail: kmrik1@yandex.ru

Abstract

The research of creation of the robot manipulator is shown in the article. Such robots can be used on assembly lines of mass production when performing repetitive operations. Also, robots manipulators can be used to perform work in conditions inaccessible and dangerous to humans. Thus, robots manipulators are shown as an object of study. The subject of research is the organization of production using a robot manipulator. The aim of the work is to research the possibilities of modeling the control's object of mechanical interactions by physical description based on dynamic modeling by language Modelica. Thus, the dynamic modelling language Open Modelica illustrates the basic methodology of the study. The research presents two options for creating the robot. The first option is to create a robot manipulator based on the prototype of a double

pendulum. The second option is to use the robot subsystem with six degrees of freedom from the Open Modelica library. The hypothesis of research is that the replacement of tiresome and monotonous work in mass production by robots manipulators will allow to increase labor productivity and is cost-effective for the machine-building enterprise. The simulation allowed to determine the organizational and economic parameters of the robot-manipulator and choose the best option for its creation. The results of the study can be used to assess the need for robotics in mass production, as well as the use of robots in inaccessible places.

For citation

Komarova N.V., Tikhomirova A.M. (2018) Issledovanie organizatsionno-ekonomicheskikh parametrov raboty robota-manipulyatora v srede dinamicheskogo modelirovaniya yazyka Modelica [Research of robot manipulator`s organizational and economic parameters in the environment of dynamic modeling language Modelica]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 8 (12A), pp. 477-484.

Keywords

Automation, robot-manipulator, production organization, modeling, Modelica language, object-oriented programming, time norms, microelement rationing, labor productivity.

References

1. Kolesov Yu.B., Senichnikov Yu.B. (2012) *Imitatsionnoe modelirovanie slozhnykh dinamicheskikh sistem* [Simulation modeling of complex dynamic systems]. Available at: http://www.exponenta.ru/soft/others/mvs/ds_sim.asp [Accessed 12/12/2018]
2. Komarova N.V. Tikhomirova A.M. (2017) Metod optimizatsii pooperatsionnogo razdeleniya truda na sborochnom konveere mashinostroitel'nogo predpriyatiya [Optimization method the operational division of labor on the Assembly line of the machine-building enterprise]. *Ekonomika i upravlenie v mashinostroenii. Aktual'nie izdatelskie resheniya* [Economics and management in mechanical engineering. Current publishing solutions], 6, pp. 9-11.
3. Komarova N.V. (2016) Perspektivy optimizatsii trudovykh protsesov na predpriyatiyakh aviatsionnoi promyshlennosti [Prospects of optimization of labor processes in the aviation industry]. *Konkurentisposobnost' v global'nom mire: ekonomika, nauka, tekhnologiya* [Competitiveness in the global world: Economics, science, technology], 1, pp. 8-11.
4. Kosenko I.I. (2012) *Modelirovanie i virtual'noe prototipirovanie* [Modeling and virtual prototyping]. Moscow: Alpha, INFRA-M Publ.
5. Looye G. et al. (2008) Nonlinear Inverse Models for Control. In: *Proceedings of 4th International Modelica Conference*. Hamburg.
6. Miyuskova R.P., Komarova N.V. (2017) Problemy i metod sovershenstvovaniya organizatsii i normirovaniya truda kak sushestvennyi rezerv povysheniya proizvoditel'nosti na promyshlennykh predpriyatiyakh [Problems and methods of improving the organization and regulation of labor as a significant reserve of productivity in industrial enterprises]. *Normirovanie i oplata truda v promyshlennosti* [Rationing and remuneration of labor in industry], 1, pp. 16-21.
7. *Modelica and the Modelica Association*. Available at: <https://www.modelica.org> [Accessed 12/12/2018]
8. Tikhomirova A.M. et al (2018) Optimizing Labor Resources at Manufacturing Enterprises. *Russian Engineering Research*, 38, 4, pp. 301-304.
9. Zamkovo A.A., Komarova N.V., Tikhomirova A.M. (2017) Modelirovanie priynatiya organizatsionnykh reshenii po optimizatsii trudovykh protsesov v mashinostroenii [Modeling of organizational decision-making on optimization of labor processes in mechanical engineering]. *Stanki i instrumenti* [Machines and tools], 10, pp. 13-17.
10. Zubinskii A. (2008) Modelica. *Komp'yuternoe obozrenie* [Computer Review], 8(625). Available at: http://ko.com.ua/modelica_346229.pdf [Accessed 12/12/2018]