

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СТАНКА ДЛЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С СИСТЕМОЙ ЧПУ

METHODOLOGY FOR DEVELOPING A SIMULATION MODEL OF A MACHINE TOOL FOR INTERACTION WITH A CNC SYSTEM

В статье рассматриваются методика разработки имитационной модели станка и реализация данной методики. Результатом реализации методики является модель станка, интегрированная в программный комплекс на базе библиотеки Unity, который может подключаться к системе ЧПУ для получения текущих координат осей, технологических данных, состояния управляющей программы и программы электроавтоматики. В дальнейшем планируется применение полученного программного комплекса для отладки и тестирования управляющих программ и программ электроавтоматики, а также для обучения специалистов.

The article discusses the technique for developing a simulation model of a machine tool and the implementation of this technique. The result of the implementation of the methodology is a machine model integrated into the software based on the Unity library, which can be connected to the CNC system to obtain the current coordinates of the axes, technological data, the state of the control program and the electric automation program. In the future, it is planned to use the resulting software package for debugging and testing part programs and programs for automation, as well as for training specialists.

Ключевые слова: управляющая программа, имитационная модель, система ЧПУ, станок, язык высокого уровня, Unity.

Keywords: part-program, simulation model, CNC system, machine-tool, high-level language, Unity.

Введение

При отладке управляющих программ (УП) [1] в современных системах ЧПУ моделируется последовательность выполняемых операций над заготовкой различными инструментами для получения нужной формы и размеров. При этом объектами моделирования даже в системах ЧПУ High-end класса являются заготовка и инструмент. В данном случае разработчик управляющей программы может оценить соответствие модели конечной детали. Величины перемещений по осям задаются машинными параметрами внутри системы ЧПУ для каждого станка индивидуально. Отдельно настраиваются ограничения на рабочую зону станка. Соответственно, если при тестовой отработке УП произойдет выход за пределы обрабатываемой зоны, система ЧПУ останавливает свою работу и выдает ошибку. Но при данном подходе не представляется возможным отследить коллизии: столкновения исполнительных органов станка друг с другом, с приспособлениями, инструментами, заготовкой и т.п. Для отслеживания подобных ситуаций используется тестовая отработка УП на станке.

Станок с ЧПУ также содержит большое количество оборудования электроавтоматики [2, 3] — это могут быть датчики различных типов, концевики, насосы, устройства подачи СОЖ, системы безопасности и т.п. Для работы этих устройств также составляются программы. Отладка этих программ выполняется на реальном конкретном оборудовании. В случае ошибок в программе, системы электроавтоматики могут быть повреждены.

Отладка программ значительно усложняется, если речь идет об оборудовании с динамически изменяющейся кинематикой. В процессе выполнения управляющей программы отдельные узлы оборудования могут взаимозаменяться, что приводит к необходимости отключения/подключения новых устройств электроавтоматики, управления новым составом приводов, переключению режимов работы осей, изменению размеров рабочей зоны и т.п.

Подготовка специалистов, работающих с определенным технологическим оборудованием, представляется довольно сложной задачей. Особенно это касается обучения специфике работы с конкретным станком. В настоящее время это обучение происходит непосредственно на рабочем месте и требует как

временных, так и материальных затрат. При этом рядом с обучающимся должен находиться наставник, который на время обучения отрывается от своих основных трудовых обязанностей. Также не исключены случаи некорректного использования оборудования вследствие малого опыта начинающего специалиста.

Решение вышеперечисленных задач может быть упрощено при использовании модели технологического оборудования. Модель будет представлять собой совокупность неподвижных и подвижных узлов станка, инструмента, устройств электроавтоматики. Модель будет связана непосредственно с системой ЧПУ, будет получать данные из УП о положении приводов, состоянии устройств электроавтоматики и обрабатывать эти перемещения. Таким образом, задачи отладки программ, обучения работе с конкретным станком значительно упрощаются.

Методика разработки имитационной модели станка

Под имитационной моделью станка в данной работе понимается совокупность описаний узлов станка, как неподвижных, так и подвижных, вспомогательных устройств. Подвижные узлы станка — шпиндельный узел, стол — должны иметь такие же возможности перемещения, как и у реального оборудования. Физические аспекты перемещающихся узлов (жесткости, демпфирования, моменты инерции, люфты в передачах, погрешности изготовления, установки и т.п.) не учитываются (рис. 1).

Методика разработки имитационной модели заключается в следующем (рис. 2):

1. Сбор данных и геометрических параметров о моделируемом оборудовании. Данные об оборудовании могут быть получены из чертежей, готовых трехмерных моделей узлов или сборки станка (при их наличии), реального оборудования, документации на оборудование. На данном этапе сложность состоит в том, что возможно использование различных источников данных, а также их совокупности.

2. Декомпозиция станка на составные части, определение минимального набора моделей компонентов. Станок разбивается на основные узлы, строится «дерево» станка. Узлы могут быть неподвижными или подвижными. Сложность данного этапа заключается в том, чтобы смоделировать все возможные перемещения исполнительных органов станка, а также вспомогательных механизмов (магазинов инструментов и т.п.). Сложность подобного разбиения повышается, если речь идет о станках с динамической кинематикой. Кинематика станка может меняться в процессе выполнения УП, соответственно меняется состав исполнительных узлов. Количество и наименования исполнительных узлов подобного станка заранее четко определены, в машинных параметрах системы ЧПУ заданы их описания. Сменные узлы также должны входить в построенное «дерево». При этом важно отметить следующее: недостаточная точность разбиения не позволит судить о возможных перемещениях на станке. Избыточная детализация же приведет к существенному усложнению моделирования и, следовательно, повышению времени на разработку.

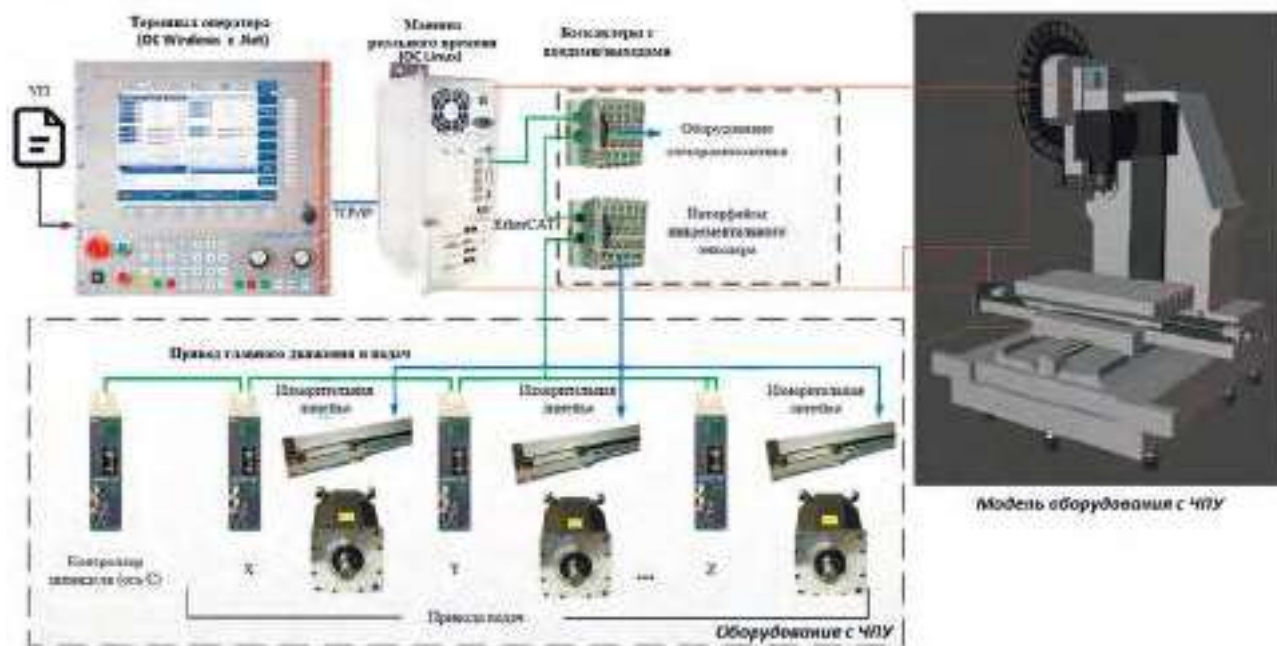


Рис. 1. Модель вертикально-фрезерного станка с ЧПУ и ее связь с системой управления

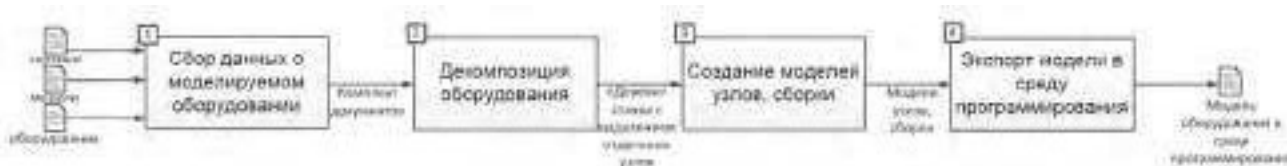


Рис. 2. Методика разработки имитационной модели станка

3. Задание геометрических параметров отдельных деталей и узлов, построение моделей отдельных узлов, сборка отдельных узлов в общую модель, определение геометрических ограничений при взаимных перемещениях. На данном этапе необходимо корректно собрать разработанные узлы в станок и задать возможные ограничения на перемещения по осям — размеры рабочей зоны, определить возможные направления перемещений.

4. Экспорт модели в среду, пригодную для программирования. Существует большое количество разнообразного ПО, в котором можно строить модели и создавать сборки. Однако помимо этих функций должна присутствовать возможность связи с системой ЧПУ для получения от нее информации о перемещениях в УП.

Практическое применение методики

Применение методики рассмотрим на примере вертикально-фрезерного станка Quaser MV184P/15C.

Согласно первому шагу методики необходимо проанализировать компоновку станка, возможные перемещения по осям, наличие вспомогательных механизмов.

Станок оснащен приводом главного движения — шпиндельным узлом, в котором закрепляется инструмент, обеспечивается вращение инструмента. Приводы подачи осуществляют перемещение стола и вертикальное перемещение шпиндельного узла.

Характеристики станка:

- Перемещение по оси $X/Y/Z$ — 1020/610/610 мм;
- Скорость подачи по осям $X/Y/Z$ — 40/40/36 м/мин;
- Диаметр и шаг шарико-винтовой передачи (ШВП) — $\varnothing 45/P = 16/16/12$;
- Частота вращения шпинделя (макс.) — 15000 об/мин;
- Система автоматической смены инструмента — магазин на 30 позиций, опционально 48/60 позиций);
- Установочные размеры (при магазине на 30 инструментов) — 2515x2625x3060 мм;
- Потребляемая мощность — 30 кВт.

Декомпозиция станка и моделирование отдельных его частей

В качестве инструмента для построения имитационной модели может быть использован Blender — профессиональное свободное и открытое программное обеспечение для создания трёхмерной

компьютерной графики, а в качестве инструмента для интеграции в программную систему симуляции — межплатформенная среда разработки, графический движок Unity [4].



Рис. 3. Элементы будущей сборки в интерфейсе программы Blender

На этапе декомпозиции станок разбивается на отдельные узлы. Необходимо выделить подвижные и неподвижные узлы и исполнительные устройства. Для станка Quaser MV184P/15C целесообразно использовать разбиение, показанное на рис. 3.

Создание моделей, узлов, сборки

При разработке моделей деталей, узлов станка необходимо обращать внимание на способы соединения отдельных деталей в узлы, их габариты. Все модели разработаны в Blender.

Фрезерный стол имеет установочные пазы для закрепления заготовки и дополнительной оснастки. Габариты стола 1200x600 (ДxШ). Модель стола представлена на рис. 4. Для крепления ШВП и направляющих внизу стола предусмотрены каретки.

Для перемещения стола в направлении оси X используются направляющие и ШВП. С помощью ШВП движение передается от двигателя стола, при этом преобразуется вращение в поступательное перемещение. Шаг винта ШВП 16 мм. Модель направляющих и ШВП показана на рис. 5.

Модель станины объединена с направляющими и ШВП оси Y , по которым перемещается направляющая стола и сам стол, а также направляющими и ШВП для перемещения шпиндельного узла по оси Z . Также модель станины, крепление для магазина инструментов и руки для смены инструмента (рис. 6).



Рис. 4. Модель фрезерного стола

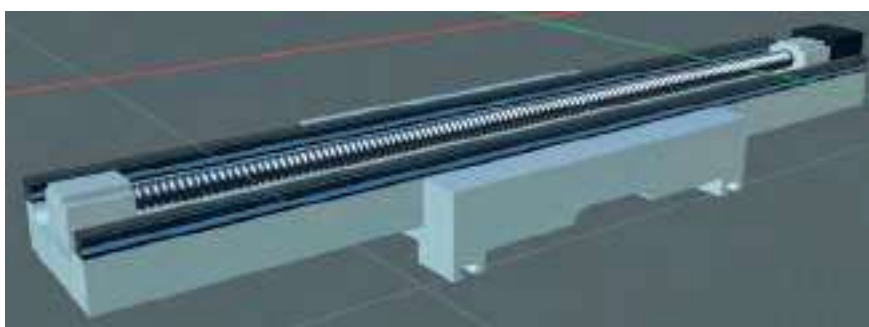


Рис. 5. Пространственный вид модели направляющей стола и винта оси X

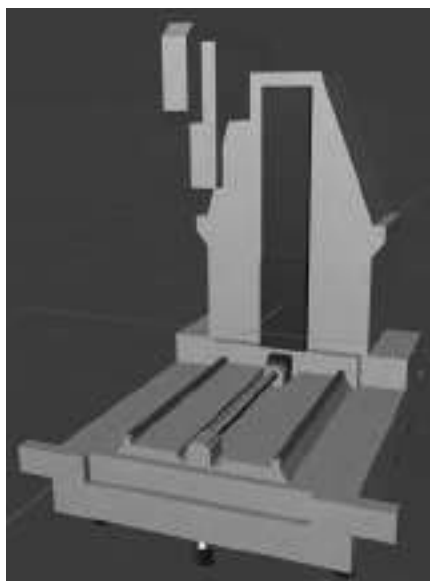


Рис. 6. Пространственный вид модели станины и винта оси Y



Рис. 7. Пространственный вид модели инструмента, совмещенного с цанговым патроном

Магазин инструментов на станке представлен в барабанном исполнении на 30 позиций. Патроны позиций барабана имеют возможность выдвигаться и поворачиваться на 90 градусов для обеспечения доступа к инструменту.

Для заполнения магазина инструментов и их использования в моделировании создается модель цангового патрона вместе с точкой крепления инструмента. В дальнейшем возможна реализация редактора для

создания инструментов параметрически и заполнения ими магазина. Цанговый патрон и инструмент объединены в одной модели (рис. 7), так как законы движения у них идентичны и дополнительное разбиение на подобъекты повлечет за собой только увеличение сложности модели без получения явных преимуществ в моделировании процесса.

Последний этап создания модели — задание материала для лучшего отображения свойств.

Создание сборки и её интеграция в проект Unity

В результате моделирования были получены модели, которые необходимо экспортировать в общую сборку (рис. 8).

Экспорт сборки выполняется частями в формате .obj, в котором хранится геометрия, а также генерируется файл формата .mtl, в котором хранятся файлы настроек текстур для материала 3D-объекта. Таким образом, каждый элемент хранит в себе информацию о своей геометрии, параметрах своего материала и расположении этих материалов на объекте (рис. 9).

Далее модели добавляются в сцену (рис. 10). Преимуществом использования среды Unity является ее кроссплатформенность, что позволяет ей взаимодействовать с ПО широкого спектра. Также в среде Unity возможно «обойти» модель во время непосредственной работы, т.е. рассмотреть процесс обработки детали под разными углами, в том числе с совместно установленными приспособлениями. Можно отследить величины перемещений исполнительных узлов станка, проверить отсутствие коллизий во время тестовой отработки управляющей программы. В случае использования станка с дина-

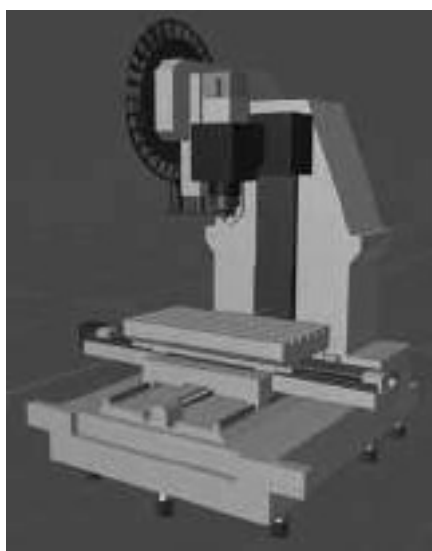


Рис. 8. Сборка модели станка QuaserMV184 для экспорта в проект Unity



Рис. 9. Импортированная модель «Станина»

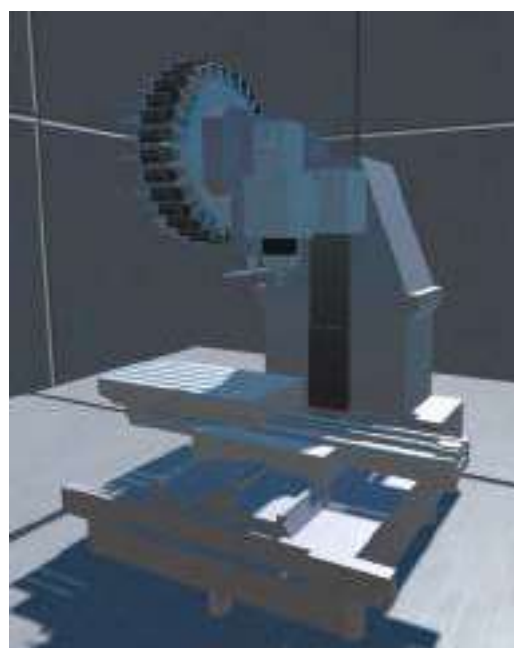


Рис. 10. Готовая сборка модели станка QuaserMV184 в среде Unity

мически изменяемой кинематикой убедиться, что произошла смена модулей и продолжилась обработка детали на станке. Возможна наработка базы стандартных узлов и компоновка на их основе новых моделей станков, что позволит значительно ускорить процесс подготовки моделей.

Заключение

Предложенная методика позволяет получить трехмерную модель станка с выделением отдельных подвижных узлов, компоновкой узлов и наложением текстур. Полученная модель интегрируется в программный комплекс на базе трёхмерной библиотеки Unity, получающий данные в реальном времени от системы ЧПУ.

Разработка библиотеки узлов станков позволит ускорить создание моделей оборудования, что также будет актуально при разработке моделей станков с динамически изменяющейся кинематикой [5–9].

Программный комплекс можно применять в технологиях виртуальной и дополненной реальности для обучения специалистов без риска испортить дорогостоящее оборудование.

Расширение возможностей программного комплекса за счёт обработки геометрических коллизий перемещающихся узлов, а также установка координат виртуальных датчиков позволит использовать модель для разработки и отладки управляющих программ и программ электроавтоматики без их запуска на реальном оборудовании.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-07-00305/20 с использованием оборудования центра коллективного пользования «Государственный инженеринговый центр» ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН» при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 075-15-2021-695 от 26.07.2021, уникальный идентификатор проекта RF-2296.61321X0013).

Библиографический список

1. Мартинов Г.М., Пушков Р.Л. Построение инструментария отладки управляющих программ систем ЧПУ на языках высокого уровня // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. № 11. с. 19–24.
2. Нежметдинов Р.А., Никишечкин П.А., Пушков Р.Л., Евстафиева С.В. Практические аспекты применения программно-реализованного контроллера для управления электроавтоматикой вертикально-фрезерных станков Quaser MV184 // Автоматизация в промышленности, № 5. 2016. с. 14–17.
3. Козак Н.В., Пушков Р.Л., Евстафиева С.В. Реализация задач управления электроавтоматикой на основе внешних вычислительных модулей SoftPLC в системе ЧПУ «АксиОМА Контроль» // Промышленные АСУ и контроллеры. № 7, 2016. с. 3–9.
4. Unity. Официальный сайт [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://unity.com/ru>.
5. Мартинов Г.М., Пушков Р.Л., Соколов С.В., Обухов А.И., Евстафиева С.В. Числовое программное управление станками с динамически изменяющейся кинематикой // Автоматизация в промышленности, № 5. 2020. с. 12–17.
6. Martinov G., Pushkov R., Martinova L., Kozak N. and Evstafieva S. Approach to development of HMI screens for CNC with dynamic kinematics. ICMTMTE 2020, MATEC Web of Conferences 329, 03026. p. 1–6.
7. Любимов А.Б., Мартинов Г.М., Мартинова Л.И., Пушков Р.Л. Построение цифровой управляющей платформы для технологического оборудования с динамически изменяющейся кинематикой // Автоматизация в промышленности, № 5. 2021. с. 3–7.
8. Martinov G.M., Sokolov S.V., Pushkov R.L. et al. Control of the machine tools with variable kinematics. Int J AdvManufTechnol 117, 2331–2339 (2021).
9. Martinov G., Kozak N. and Evstafieva S. Implementation of Dynamic Changes in Machine Kinematics in the Electroautomatic Subsystem of the CNC System. 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2021, pp. 596–601.

References

1. Martinov G.M., Pushkov R.L. Building debug instruments for debugging CNC part programs with high-level languages // Pribory i sistemy. Upravlenije, control, diagnostica. 2008. № 11. p. 19–24.
2. Nezhmetdinov R.A., Nikishechkin P.A., Pushkov R.L., Evstafieva S.V. Practical aspects of using program-realized controller for controlling electroautomatic software Quaser MV184 Machines // Avtomatizacija v promyshlennosti, № 5. 2016. p. 14–17.
3. Kozak N.V., Pushkov R.L., Evstafieva S.V. Developing tasks for control electro automatic using outer computing SoftPLC modules with CNC “AxiOMA Control” // Promyshlennye ASUI kontrollery. № 7, 2016. p. 3–9.
4. Unity. Official site [Electronic version]. — Available at: <https://unity.com/ru>.
5. Martinov G.M., Pushkov R.L., Sokolov S.V., Obukhov A.I., Evstafieva S.V. Computer numeric control of machines with dynamic variable kinematics // Avtomatizacija v promyshlennosti, № 5. 2020. p. 12–17.
6. Martinov G., Pushkov R., Martinova L., Kozak N. and Evstafieva S., 2020. Approach to development of HMI screens for CNC with dynamic kinematics. ICMTMTE 2020, MATEC Web of Conferences 329, 03026. p. 1–6.

7. Ljubimov A.B., Martinov G.M., Martinova L.I., Pushkov R.L. Building digital control platform for technological equipment with dynamic variable kinematics // *Avtomatizacija v promyshlennosti*, № 5. 2021. p. 3–7.

8. Martinov, G.M., Sokolov, S.V., Pushkov, R.L. et al. Control of the machine tools with variable kinematics. *Int J Ad v Manuf Technol* 117, 2331–2339 (2021).

9. Martinov G., Kozak N. and Evstafieva S. Implementation of Dynamic Changes in Machine Kinematics in the Electroautomatic Subsystem of the CNC System. 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2021, pp. 596–601.

Пушков Роман Львович — канд. техн. наук, доц. кафедры компьютерных систем управления ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

pushkov@ncsystems.ru

Евстафиева Светлана Владимировна — старший преподаватель кафедры компьютерных систем управления ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

svetlana.evstafieva@gmail.com

Грубляк Владислав Ярославович — студент кафедры компьютерных систем управления ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

vinograd2702@gmail.com

Pushkov Roman Lvovich — candidate Sc. of Engineering, associate professor at the sub-department of “Computer-Architecture Control Systems” of MSUT “STANKIN”

pushkov@ncsystems.ru

Evstafieva Svetlana Vladimirovna — lecturer at the sub-department of “Computer-Architecture Control Systems” of MSUT “STANKIN”

svetlana.evstafieva@gmail.com

Grublyak Vladislav Yaroslavovich — student at the sub-department of “Computer-Architecture Control Systems” of MSUT “STANKIN”

vinograd2702@gmail.com

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflicts of Interest Statement: The authors have no conflicts of interest to declare.
