



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-4-28-35>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 621.865.8

МЕХАТРОННОЕ УСТРОЙСТВО СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

КУЛЬША А.Ю.¹, КЛИМОВИЧ М.А.¹, СТЕРЖАНОВ М.В.¹, ТЕСЛЮК В.Н.¹, ЕГОРОВА Н.Г.²

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)

²Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси
(г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 27 декабря 2019

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2020

Аннотация. Цель работы, представленной в статье, заключается в демонстрации поэтапной разработки мехатронного устройства, описании процесса разработки конструкции устройства, его программного обеспечения, демонстрации применения теории избранных разделов математики и физики в области робототехники, и в частности: линейной алгебры, геометрии, вычислительной математики, дискретной математики, механики. Исследование проводилось на основе мехатронного устройства, которое было спроектировано в рамках подготовки к международному турниру по робототехнике «First Global Challenge 2019» молодежной командой Республики Беларусь, ставшей победителем данных соревнований. В статье подробно описана постановка задачи на данном турнире, выделены основные требования к создаваемому роботу, представлено общее описание этапов создания устройства как в ходе проектирования, так и при непосредственной реализации проекта, а также обоснованы инженерные решения, которые были приняты в процессе конструирования. Более подробно описаны этапы, представляющие наибольший интерес с точки зрения применения теории прикладной физики и математики. Особое внимание в статье уделено проектированию и разработке модулей конструкции, а также разработке программного обеспечения для управления устройством. Робот представляет собой экспериментальную модель, которая может быть использована в дальнейших исследованиях в области искусственного интеллекта, машинного обучения, систем автоматизации, а также является потенциальной платформой для обучения робототехнике на уровне среднего специального и высшего образования.

Ключевые слова: мехатронные устройства, робототехника, мобильная платформа, механика, программирование.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Авторы благодарят Францкевича А.А. за ценные рекомендации и замечания по вопросам робототехники. В команду по робототехнике входили: Кульша А.Ю., Говор Е.И., Олексин С.А., Латушко Т.А., Шпилевский М.И.

Для цитирования. Кульша А.Ю., Климович М.А., Стержанов М.В., Теслюк В.Н., Егорова Н.Г. Мехатронное устройство систем искусственного интеллекта. Доклады БГУИР. 2020; 18(4): 28-35.

MECHATRONIC DEVICE OF AI SYSTEMS

ALEKSANDR Y. KULSHA¹, MAKSIM A. KLIMOVICH¹, MAKSIM V. STERJANOV¹,
VLADIMIR N. TESLUK¹, NATALJA G. EGOROVA²

¹*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
(Minsk, Republic of Belarus)*

²*The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus
(Minsk, Republic of Belarus)*

Submitted 27 декабря 2019

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020

Abstract. The purpose of this work is to demonstrate the phased development of a mechatronic device, to describe the development process of the device design and software, to demonstrate the application of the theory of selected sections of mathematics and physics in robotics, and, in particular, linear algebra, geometry, computational mathematics, discrete mathematics and mechanics. The study was based on the mechatronic device, which had been designed by the youth team of the Republic of Belarus in preparation for the international robotics competition “First Global Challenge 2019”, which became the winner of this event. The article describes in detail the statement of the problem at this competition, identifies the basic requirements for the robot being built, provides a general description of the stages of building the device both during the design process and during the immediate implementation of the project, as well as substantiates the engineering decisions that were made during the design process. The stages that are of the greatest interest in terms of applying the theory of applied physics and mathematics are described in more detail. Particular attention is paid to the design and development of structural modules, as well as to the development of software for controlling the device. The robot is an experimental model that can be used in further research in the field of artificial intelligence, machine learning, automation systems, and is also a potential platform for teaching robotics at the level of specialized secondary and higher education.

Keywords: mechatronic devices, robotics, mobile platform, mechanics, programming.

Gratitude. The authors thank Frantskevich A.A. for valuable recommendations and comments on robotics. The robotics team included: Kulsha A.Yu., Govor E.I., Oleksin S.A., Latushko T.A., Shpilevsky M.I.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Kulsha A.Y., Klimovich M.A., Sterjanov M.V., Tesluk V.N., Egorova N.G. Mechatronic device for AI systems. Doklady BGUIR. 2020; 18(4): 28-35.

Введение

Процесс разработки роботов, как и любых автоматических мехатронных устройств, начинается с определения потребностей, изучения основных концепций и постановки задачи. Задача молодежной команды Республики Беларусь по робототехнике состояла в том, чтобы разработать специализированного робота для участия в международных соревнованиях FIRST Global Challenge. Каждый год конкурсантами решается новая техническая задача, имеющая отношение к глобальным проблемам и утвержденная Национальной инженерной академией США. В 2019 году соревнования FIRST Global Challenge проходили в Объединенных Арабских Эмиратах и были посвящены проблеме загрязнения мирового океана.

Постановка задачи

В соответствии с тематикой турнира участникам предстояло смоделировать действия по очистке мирового океана. Перед началом матча каждая сторона игрового поля³ (рис. 1), условно представляющего поверхность океана, покрыта загрязнителями, распределенными случайным образом. В общей сложности тридцать микрозагрязняющих и пятьдесят макрозагрязняющих элементов, представленных шариками разного размера, засоряют океан. Очистные бригады (или так называемые альянсы), состоящие из трех национальных команд, набирают баллы за счет переноса загрязняющих элементов в два района обработки, расположенных в океане – баржа обработки и центр восстановления. Длительность матча – 2,5 мин.

Роботы-коллекторы набирают очки, размещая загрязняющие элементы на трех уровнях баржи обработки, каждый из которых представляет разные степени переработки. По мере продвижения уровней от низшего к высшему количество получаемых очков увеличивается (два, три и шесть очков за каждый элемент в соответствии с уровнем).

Центры восстановления, по одному на каждый альянс, расположены в углах поля. Коллекторы набирают очки, внося загрязняющие вещества в эти зоны, получая по одному очку за каждый доставленный загрязнитель. Дополнительные очки можно заработать за каждого робота-сборщика, который пристыковывается к барже для обработки. Частично пристыкованные коллекторы, соприкасающиеся с рампой баржи обработки, получают пять очков; полностью состыкованные коллекторы, находящиеся на рампе баржи обработки и не касающиеся поверхности поля – десять очков; поднятые пристыкованные коллекторы, свисающие с рельса, окружающего перерабатывающий уровень перерабатывающей баржи – двадцать очков.



Рис. 1. Схема игрового поля
Fig. 1. Playing field scheme

Альянс, набравший наибольшее количество очков к концу матча, объявляется победителем этого матча.

После изучения правил игры команда Республики Беларусь пришла к следующей стратегии:

- собрать максимально возможное количество микрозагрязнителей в короткий промежуток времени и поместить их на верхний уровень баржи обработки;
- пристыковаться к барже обработки и подняться на рельсе, заработав максимальное количество очков за стыковку.

Таким образом, задача команды состояла в создании и программировании робота [1], обладающего следующими свойствами:

- высокая мобильность;
- легкий/средний вес конструкции;
- высокая скорость;

³ Схема игрового поля и дополнительные материалы доступны на официальном сайте соревнований: <https://first.global/fgc>.

- возможность стыковки;
- наличие механизма выгрузки загрязнителей на третий уровень баржи обработки;
- наличие механизма загрузки.

В результате членами команды использовался следующий процесс:

- проектирование и разработка модулей конструкции;
- разработка программного обеспечения;
- тестирование и отладка.

Проектирование и разработка модулей конструкции

При проектировании и сборке шасси робота команда Республики Беларусь пришла к выводу о необходимости использования омни-колес⁴ [2] для достижения поставленной выше задачи. Робот на омни-колесах может двигаться в любом направлении по любой дуге, не меняя своей ориентации в пространстве, что дает большое преимущество во время матча [3]. При этом трение скольжения между колесами и опорной поверхностью практически отсутствует. Данное достоинство омни-колес одновременно является и их недостатком – отсутствие трения не позволяет роботу зафиксировать свое положение на наклонной поверхности [4]. С целью устранения этого недостатка был разработан механизм, в основе которого заложен принцип стояночного тормоза.

Для создания подъемного механизма членам команды понадобилось преобразовать вращательное движение в прямолинейное. Для этого, исходя из технических возможностей робототехнического набора и поставленных требований, была разработана система, схематично представленная на рис. 2.

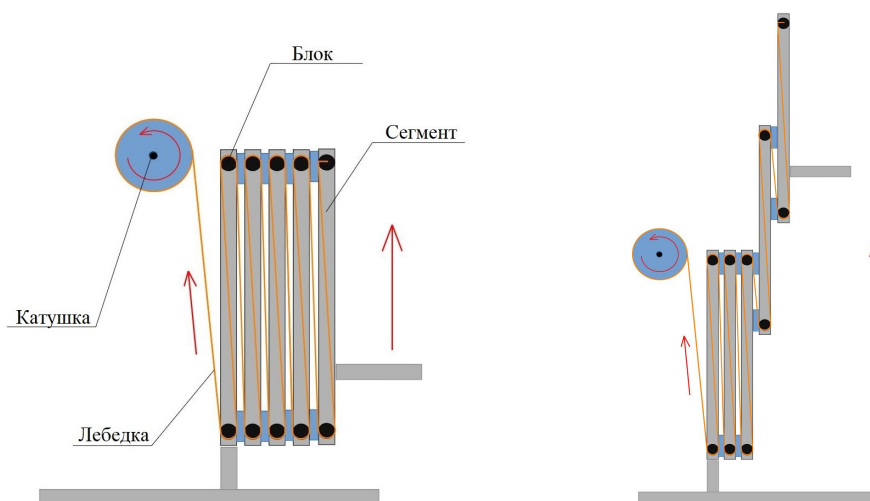


Рис. 2. Система подъема
Fig. 2. Elevation system

Вращательное движение оси мотора используется для намотки лебедки на катушку; натяжение лебедки в свою очередь приводит в движение элеватор при помощи блочной системы, установленной на сегментах механизма, соединенных подвижно. Каждый сегмент представляет из себя металлическую балку с закрепленными на концах блоками. Изучив схему игрового поля, было выяснено необходимое количество подвижных сегментов, производя необходимые расчеты по формуле (1).

$$n = \left\lceil \frac{H}{l} \right\rceil + 1, \quad (1)$$

⁴ Huang L., Lim Y., Lee D., Teoh C.E. Design and analysis of a four-wheel omnidirectional mobile robot. 2nd International Conference of Autonomous Robots and Agents, 2004:425-428.

где n – количество подвижных сегментов, H – необходимая высота подъема (см), l – длина сегмента (см).

Таким образом, данная конструкция обеспечивает подъем загрязнителей на высоту третьего уровня баржи переработки, что полностью соответствует поставленным требованиям.

Механизм сборки загрязнителей представляет из себя систему вращающихся валов с закрепленными на ними «щетками». Чтобы обеспечить высокую скорость их вращения, была использована цепь, передающая момент вращения оси мотора валам. Цепная передача – это передача механической энергии при помощи гибкого элемента – цепи, за счет сил зацепления. Состоит из ведущей и ведомой звездочки и цепи, а цепь, в свою очередь, состоит из подвижных звеньев [5].

Опытным путем была получена оптимальная конфигурация звездочек, количество звеньев в цепи рассчитывается по формуле

$$L = \left[\frac{2C}{P} + \frac{N+p}{2} + \frac{P \left(\frac{N-n}{2\pi} \right)^2}{C} \right], \quad (2)$$

где L – количество звеньев в цепи; C – расстояние между осями вращения звездочек (см); P – длина звена (см); N – количество зубьев большей звездочки; n – количество зубьев меньшей звездочки.

Для обеспечения высокой пропускной способности механизма был использован вал максимальной длины. Таким образом, робот был обеспечен функцией сбора загрязнителей с приемлемой скоростью и пропускной способностью.

Процесс выгрузки осуществлялся с помощью контейнера хранения. Он оснащен сервоприводом, который отпирает крышку и освобождает область хранения. Возвратное действие происходит за счет натяжения резиновых жгутов, закрепленных на крышке и контейнере. Собранный прототип представлен на рис. 3.

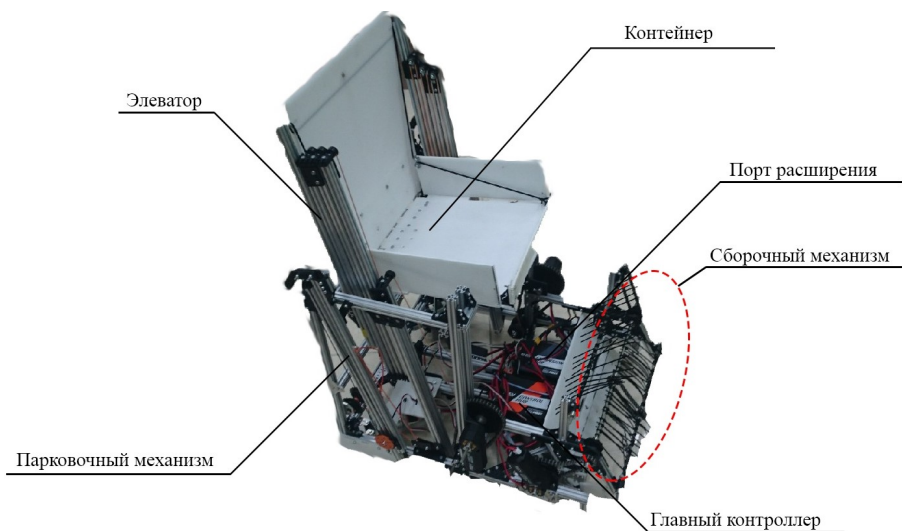


Рис. 3. Собранный прототип
Fig. 3. Assembled prototype

Разработка программного обеспечения

Основываясь на конструкции робота, при разработке программного обеспечения требовалось решить следующие задачи:

- получение данных с пульта управления;
- обработка полученных данных;

– разработка классов и функций для управления омни-колесами, стояночным механизмом, элеватором и выгрузкой контейнера.

Для получения данных с пульта управления требуется планшет, который подключается к главному контроллеру через wifi 2.4g. Полученные данные преобразуются библиотекой, предоставленной производителем контроллера. Например, чтобы получить данные по оси абсцисс с правого стика, необходимо вызвать метод *right_stick_x* на объекте класса *Gamedpad*. Данный метод возвращает значение от -1 до 1 в зависимости от положения правого стика.

Управление элеватором происходит при помощи двух стиков. Использование двух стиков вместо одного обусловлено независимостью моторов и возможностью рассинхронизации подъемных механизмов между собой. Мощность мотора может принимать значение от -1 до 1 , где знак обозначает направление вращения мотора.

Для управления контейнером и стояночным механизмом использовались сервомоторы, которые могут фиксироваться в определенном положении. Положения определяются вручную и записываются в программу в качестве констант. Кнопка «А» во втором пульте управления предназначена для взаимодействия с контейнером. Аналогично и для стояночного механизма, который управляется первым пультом.

Заключаящим этапом является программирование движения на омни-колесах [6–8]. Упрощенная модель робота с омни-колесами показана на рис. 4.

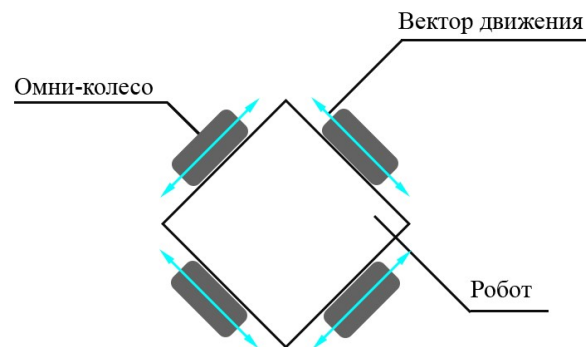


Рис. 4. Модель робота с омни-колесами
Fig. 4. Robot model with omni wheels

Управление ходовой частью робота осуществляется с помощью двух стиков: один стик позволяет роботу вращаться вокруг собственной оси, другой – двигаться в заданном направлении. Для поворота робота по часовой стрелке необходимо отклонить левый стик вправо, против часовой стрелки – влево.

Для осуществления движения в заданном направлении колеса разделяются на две группы, причем противоположные колеса объединяются и двигаются в одном направлении. Группе из заднего и переднего колеса передается значение смещения правого стика по оси X , а боковым – по оси Y . Пример движения на рис. 5.

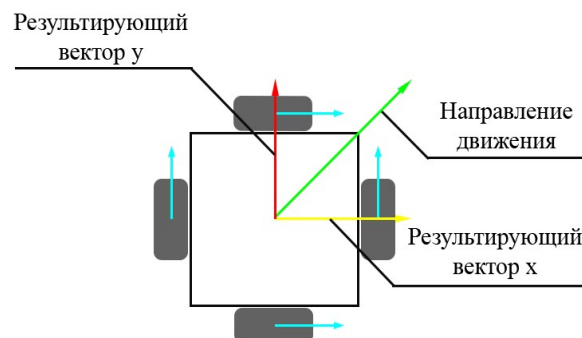


Рис. 5. Пример движения под углом 45°
Fig. 5. An example of movement a 45-degree angle

В силу конструктивных особенностей центральная ось робота расположена под углом 45° к осям, проходящим через центры противоположных колес, поэтому формула движения преобразуется с помощью матрицы поворота векторов в двумерном пространстве:

$$M(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & \mp \sin(\theta) \\ \pm \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где θ – угол поворота.

Набор новых значений для передачи в моторы получается путем умножения матрицы поворота на вектор-столбец, координаты которого – значения смещения стика по осям:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \mp \sin(\theta) \\ \pm \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}. \quad (4)$$

С учетом значения заданного угла формула приобретает следующий вид:

$$\begin{pmatrix} x' = x \frac{\sqrt{2}}{2} + y \frac{\sqrt{2}}{2} \\ y' = -x \frac{\sqrt{2}}{2} + y \frac{\sqrt{2}}{2} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Заключение

В результате исследования и разработки был создан уникальный прототип робота, который принес победу в международных соревнованиях по робототехнике FIRST Global Challenge. Прототип имеет высокий потенциал: робот является универсальной базой для разработки мехатронных устройств, предназначенных для выполнения узконаправленных специфических задач. Робот может использоваться в качестве платформы для исследований в области искусственного интеллекта.

Список литературы

1. Нгуен Н.М. Разработка математической модели погрузочно-разгрузочного устройства с всенаправленными колесами. *Труды МАИ*. 2012;58:22.
2. Pin F.G., Killough S.M. A new family of omnidirectional and holonomic wheeled platforms for mobile robots. *IEEE transactions on robotics and automation*. 1994;10(4):480-489.
3. Лапшин В.П., Коба Я.Д., Абалов А.А. Omni-колеса как способ решения проблемы нелинейного взаимодействия колеса и опорной поверхности в малых мобильных платформах. *Молодой исследователь Дона*. 2018;4(13):88-89.
4. Вонг Дж. *Теория наземных транспортных средств*. Москва: Машиностроение; 1982.
5. Воробьев Н.В. *Ценные передачи*. Изд. 4-е. Москва: Машиностроение; 1968.
6. Андреев А.С., Кудашова Е.А. О моделировании структуры управления для колесного робота с омни-колесами. *Автоматизация процессов управления*. 2015;2:114-121.
7. Мартыненко Ю.Г., Формальский А.М. О движении мобильного робота с роликонесущими колесами. *Известия РАН. Теория и системы управления*. 2007;6:142-149.
8. Зобова А.А., Татаринцов Я.В. Динамика экипажа с роликонесущими колесами. *Прикладная математика и механика*. 2009;73:13-22.

References

1. Nguen N.M. [Development of a mathematical model of loading and unloading devices with Omnidirectional wheels]. *Trudy MAI = Trudy MAI*. 2012;58:22. (In Russ.)
2. Pin F.G., Killough S.M. A new family of omnidirectional and holonomic wheeled platforms for mobile robots. *IEEE transactions on robotics and automation*. 1994;10(4):480-489.

- Lapshin V.P., Koba Y.D., Abalov A.A. [Omni wheels as the way to solve the problem of non-linear interaction of the wheel and the bearing area in small mobile platforms]. *Molodoj issledovatel` Dona = Molodoj issledovatel` Dona*. 2018;4(13):88-89. (In Russ.)
- Wong J.Y. [*Theory of ground vehicles*]. Moscow: Mashinostroenie; 1982. (In Russ.)
- Vorobyov N.V. [*Chain transitions*]. 4th ed. Moscow: Mashinostroenie; 1986. (In Russ.)
- Andreev A.S., Kudashova E.A. [Control structure modeling for a wheeled robot with omni wheel]. *Avtomatizaciya processov upravleniya = Automation of Control Processes*. 2015;2:114-121. (In Russ.)
- Martynenko Yu.G., Formal'skij A.M. [Movement of a mobile robot with roller-bearing wheels]. *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya = Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya*. 2007;6:142-149. (In Russ.)
- Zobova A.A., Tatarinov Y.V. [The dynamics of the crew with roller-bearing wheels]. *Prikladnaya matematika i mekhanika = Prikladnaya matematika i mekhanika*. 2009;73:13-22. (In Russ.)

Вклад авторов

Кульша А.Ю. принял участие в разработке робота, описал процесс конструирования.
Климович М.А. принял участие в разработке программного обеспечения, описал процесс его разработки.
Стержанов М.В. курировал разработку и редактирование статьи.
Теслюк В.Н. разработал математическую модель движения робота.
Егорова Н.Г. разработала дискретную логическую математическую модель движения робота.

Authors' contribution

Kulsha A.Y. took part in the robot designing and described this process.
Klimovich M.A. took part in software development, described its designing process.
Sterjanov M.V. oversaw the development and editing of the article.
Teslyuk V.N. developed the mathematical model of the movement of the robot.
Egorova N.G. developed the discrete logical mathematical model of the robot movement.

Сведения об авторах

Кульша А.Ю., студент факультета компьютерных систем и сетей Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Климович М.А., студент факультета компьютерных систем и сетей Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Стержанов М.В., к.т.н, доцент, доцент кафедры информатики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Теслюк В.Н., к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры информатики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Егорова Н.Г., к.т.н, старший научный сотрудник лаборатории математической кибернетики Объединенного института проблем информатики Национальной академии наук Беларуси.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
тел. +375-29-376-58-47;
e-mail: sterjanov@bsuir.by
Стержанов Максим Валерьевич

Information about the authors

Kulsha A.Y., student of Faculty of Computer Systems and Networks of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Klimovich M.A., student of Faculty of Computer Systems and Networks of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Sterjanov M.V., PhD, Associate Professor, Associate Professor of Informatics Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Teslyuk V.N., PhD, Associate Professor, Associate Professor of Informatics Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Egorova N.G., PhD, Senior Researcher of the Laboratory of Mathematical Cybernetics of United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus.

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovki str., 6,
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
tel. +375-17-293-88-41;
e-mail: sterjanov@bsuir.by
Sterjanov Maksim