

# Разработка конструкции и проектирование многофункционального робота-дезинфектора с влажной уборкой помещения

<sup>1</sup>ТУЛЕШОВ Амандык Куатович, д.т.н., генеральный директор, aman\_58@mail.ru,

<sup>1</sup>ИБРАЕВ Саят Мұратұлы, д.т.н., генеральный научный сотрудник, sayat\_m.ibrayev@mail.ru,

<sup>1</sup>ИМАНБАЕВА Нурбиби Сайрамовна, PhD, доцент, imanbaevan@mail.ru,

<sup>1\*</sup>РАХМАТУЛИНА Аяулым Багдатовна, PhD, ассоциированный профессор, kazrah@mail.ru,

<sup>2</sup>УДЕРБАЕВА Асемгуль Еркинбековна, PhD, ассоциированный профессор, a.uderbayeva@satbayev.university,

<sup>1</sup>Институт механики и машиноведения имени академика У.А. Джолдасбекова, Казахстан, Алматы, ул. Курмангазы, 29,

<sup>2</sup>НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева», Казахстан, Алматы, ул. Сатпаева, 22а,

\*автор-корреспондент.

**Аннотация.** В статье предложен улучшенный робот, предназначенный для автоматизации плановой или экстренной дезинфекции [1] и влажной уборки в закрытых помещениях. Робот относится к роботам комбинированного типа. Целью данной статьи является улучшение функциональных характеристик робота-дезинфектора. Для этого предложен многофункциональный робот-дезинфектор с роботом-спутником, который выполняет влажную уборку помещения для более качественной дезинфекции. Робот состоит из трех функциональных частей: универсальной мобильной платформы (нижняя часть) и собственно дезинфектора (верхняя часть), которая при необходимости может свободно передвигаться персоналом на 4 колёсах [1]. К верхней части робота прикреплен специальный подъемный механизм, предназначенный для подъема и спуска гнезда робота-спутника для влажной уборки. 3D-модель многофункционального робота-дезинфектора выполнена в среде программного комплекса Inventor. Кинематические расчеты подъемного механизма для ношения роботом-дезинфектором робота-спутника выполнены методом замкнутых векторных контуров. Синтез подъемного механизма выполнен методом квадратического приближения.

**Ключевые слова:** многофункциональный робот-дезинфектор, пандемия COVID-19, УФ-лампы, комбинированный тип дезинфекции, робот-спутник, подъемный механизм, медицинский робот, кинематический анализ, синтез.

## Введение

Безвредные вирусы и бактерии могут распространяться и в течение нескольких дней сохраняться на поверхностях [2]. Следовательно, поверхности и предметы необходимо стерилизовать: стерилизация убивает все формы микробной жизни на объекте или поверхности [3]. Статистические данные показывают, что следует проводить более эффективные стерилизации, то есть комбинированные методы стерилизаций, которые включают и влажную уборку помещения одновременно [5].

В работе [6] показано, что для борьбы с вирусом COVID-19 Чапгракоп и другие разработали робот UVC. Однако работа робота в помещениях с присутствием человека и одновременная влажная уборка не рассмотрена.

Также в следующих работах приведены результаты исследований компаний, которые выпустили роботы-дезинфекторы: компанией Geek + Robotics разработан и выпущен робот Lavender и Jasmin, Omron [7], Akara Robotics в Trinity College Dublin [8], Milagrow Robotics разработал Indoor Disinfection RoboCop с УФ-С дезинфекцией [9], Youibot [10] разработал и выпустил ARIS-K2 anti-virus robot.

Для улучшения разработанного многофункционального робота-дезинфектора (Евразийский патент № 040808 от 29 июля 2022) и качественной обработки нижних поверхностей и одновременной влажной уборки помещения спроектирован подъемный механизм, который носит робота-спутника для влажной уборки и закрепляется к роботу-дезинфектору [4].

**Методы исследования**

Целью исследования является разработка конструкции и проектирование многофункционального робота-дезинфектора с роботом-спутником для влажной уборки помещения. Робот относится к роботам комбинированного типа. Из аналитического обзора существующих роботов-дезинфекторов следует, что многофункциональные роботы-дезинфекторы намного эффективнее, а использование одновременно влажной уборки повышает качество дезинфекции.

В статье [1] был предложен многофункциональный робот-дезинфектор, предназначенный для автоматизации плановой или экстренной дезинфекции в закрытых помещениях. Также получен Евразийский патент многофункционального робота-дезинфектора. В данной работе предлагаем улучшенную конструкцию робота-дезинфектора, то есть с роботом-спутником для влажной уборки в целях одновременной дезинфекции и влажной уборки помещения.

Многофункциональный робот-дезинфектор состоит из трех функциональных частей – мобильной платформы робота и дезинфицирующей платформы. Также к верхней части робота сзади прикреплен специальный подъемный механизм, предназначенный для подъема, спуска и ношения гнезда робота-спутника для влажной уборки. Дезинфицирующая платформа имеет «П» образный портал, в нижней части которого установлены колеса, а сверху система распыления дезинфекционной жидкости и ультрафиолетовые лампы с отражателями. 3D-модель многофункционального робота-дезинфектора выполнена в среде программного комплекса Inventor, и изгото-

товлен экспериментальный образец (рисунок 1).

**Разработка конструкции подъемного механизма для ношения робота-спутника для влажной уборки на робот-дезинфекторе**

Для ношения робота-спутника для влажной уборки на роботе-дезинфекторе разработан и спроектирован специальный подъемный механизм. Механизм подъема робота-спутника представляет собой четырехзвенный шарнирный механизм.

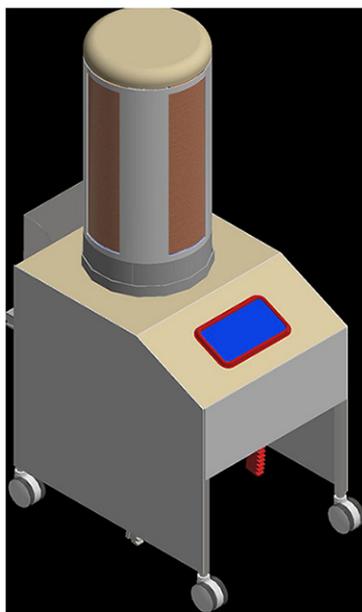
Решена задача синтеза, для чего считаем заданными  $N$  конечноудаленных положений точки  $D$  вдоль вертикальной прямой (рисунок 2а). Будем считать также заданными параметры диады  $ABD$  задаваемой величинами  $X_A, Y_A, a, b$ , где  $X_A, Y_A$  – абсолютные координаты шарнира  $A$  относительно неподвижной системы координат  $OXY$ .

Задача синтеза заключается в реализации уравнения связей:

$$(X_{C_i} - X_D)^2 + (Y_{C_i} - Y_D)^2 - l_{DC}^2 = 0, \quad i = 1, \dots, N. \quad (1)$$

Геометрический смысл этого уравнения заключается в определении шарнира  $C$ , положение которого в абсолютной системе координат  $C_i, i = 1, \dots, N$  является равноудаленным от начала системы координат  $OXY$ .

Подставляя абсолютные координаты  $X_{C_i}, Y_{C_i}$  в (1) и введя обозначения и новые переменные, получим уравнение связей  $\Delta_i$ , которое называется отклонением от реализации заданного уравнения связей, тогда задача синтеза будет заключаться в приближенной реализации уравнения (1) для всех,  $i = 1, \dots, N$  заданных положений точек.



а



б

Рисунок 1 – 3D модель и экспериментальный образец многофункционального робота-дезинфектора для влажной уборки помещения

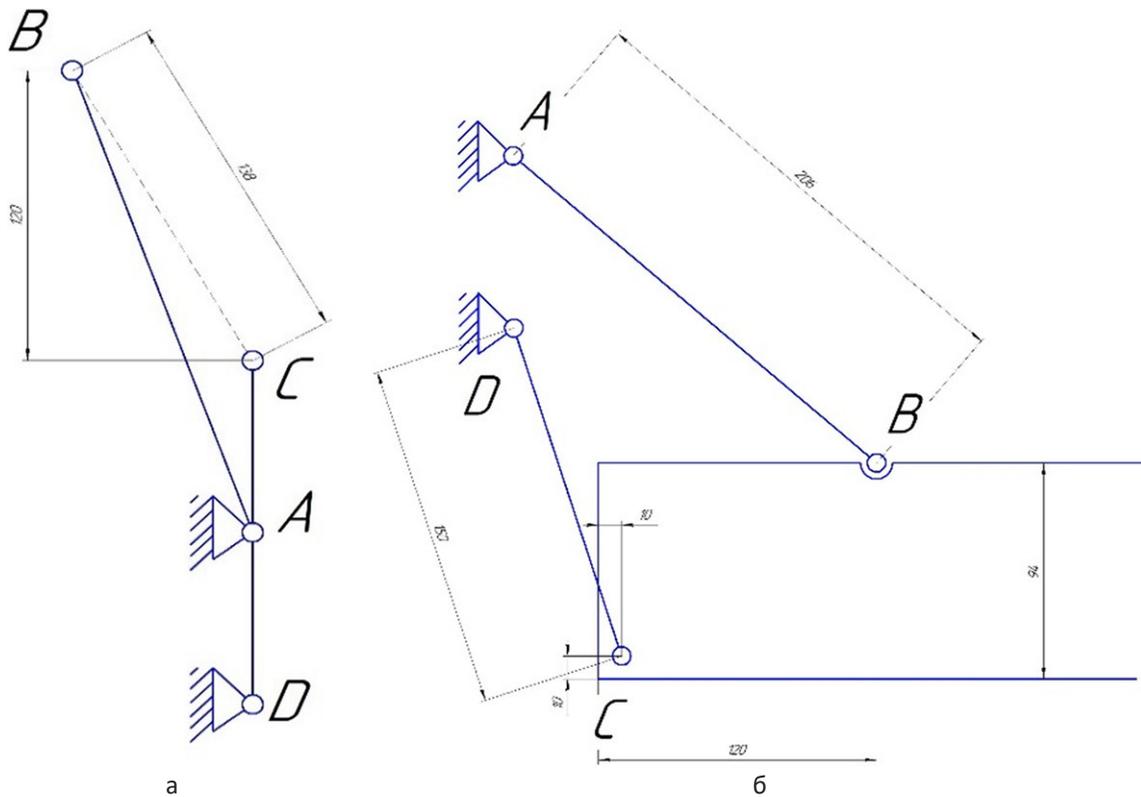


Рисунок 2 – Механизм подъема и спуска робота-спутника

Далее находим минимум функции

$$S(x_1, x_2, x_3) = \sum_{i=1}^N \Delta_i^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $x_1, x_2, x_3$  – локальные координаты точки C и отклонение точки C.

Таким образом, задача синтеза сформулирована в виде задачи квадратического приближения. Приравнявая частные производные по переменным  $x_i$  нулю, получим систему 3-х линейных уравнений для определения переменных  $x_1, x_2, x_3$ .

Далее определяем размеры шарнирного четырехзвенника ABCD.

На шатун BC четырехзвенного механизма закрепляется гнездо для ношения робота-спутника (рисунок 2б). В исходном положении гнезда, поднятого вверх, угол между вертикальной осью и звеном AB составляет  $20^\circ$  (рисунок 2а). В положении, спущенном вниз, угол между вертикальной осью и звеном AB составляет  $50^\circ$ .

Выполнено исследование кинематики четырехзвенного шарнирного механизма.

Для определения функций положений звеньев механизма задачу кинематического анализа решаем методом замкнутых векторных контуров (рисунок 3).

Тогда функции положения звеньев 2 и 3 определяются следующими формулами:

$$\varphi_2 = \arccos \frac{l_3^2 - l_2^2 - S^2}{2l_3 S} + \arctg \frac{l_1 \cos \varphi_1}{l_1 \sin \varphi_1 - l_{DA}}, \quad (3)$$

$$\varphi_3 = \arccos \frac{l_3^2 + S^2 - l_2^2}{2l_3 S} + \arctg \frac{l_1 \cos \varphi_1}{l_1 \sin \varphi_1 - l_{DA}}. \quad (4)$$

Используя (3) и (4), можно получить координаты шарниров и центров тяжести механизма.

Далее для определения скоростей и ускорений звеньев механизма составляем векторное уравнение замкнутости контура ABCD (рисунок 3).

$$\vec{l}_{AD} + \vec{l}_3 + \vec{l}_2 = \vec{l}_1. \quad (5)$$

Проектируя уравнение (5) на оси  $Ox, Oy$  и дифференцируя по обобщенной координате  $\varphi_1$ , получаем выражения для определения аналогов угловых скоростей  $\omega_2$  и  $\omega_3$  звеньев 2 и 3, которые позволяют определить линейные скорости шарниров четырехзвенного подъемного механизма.

$$U_{21} = -\frac{l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_3)}{l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3)}, \quad U_{31} = -\frac{l_1 \sin(\varphi_1 - \varphi_2)}{l_3 \sin(\varphi_3 - \varphi_2)}. \quad (6)$$

На основе полученных выражений разработана компьютерная модель кинематического анализа четырехзвенного механизма, предназначенного для подъема и спуска робота-спутника.

### Результаты математического моделирования и разработки конструкции робота для дезинфекции

Представлена 3D-модель робота-дезинфектора в среде программного комплекса Inventor (рисунок 4) [1].

Также решена задача синтеза и получены

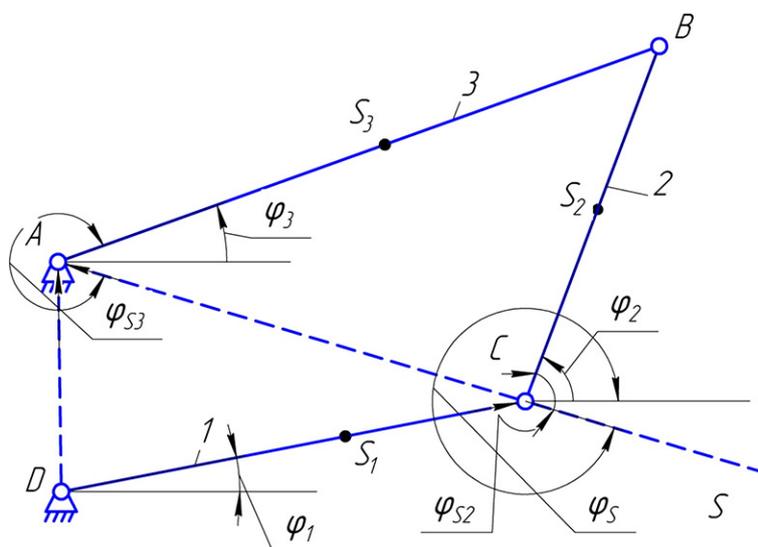
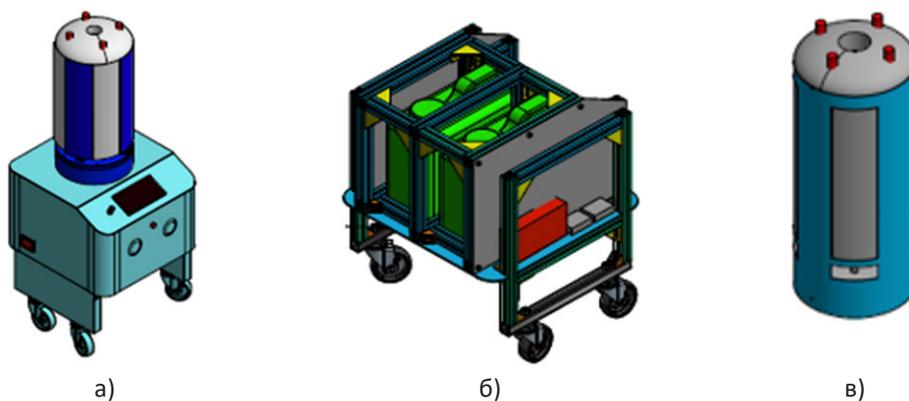


Рисунок 3 – Кинематический анализ механизма подъема и спуска робота-спутника



а) общий вид, б) нижняя часть робота для жидкой дезинфекции, в) верхняя часть робота, предназначенная для УФ дезинфекции и для работы в режиме рециркулятора

Рисунок 4 – 3D-модель робота-дезинфектора

размеры четырехзвенного шарнирного механизма, предназначенного для подъема и спуска робота-спутника.

Проведен кинематический анализ четырехзвенного шарнирного механизма и получены траектория движения, скорость и ускорение шатуна ВС, где закрепляется гнездо для робота-спутника. Кинематический анализ подтверждает работоспособность полученного четырехзвенного шарнирного механизма для подъема и спуска робота-спутника.

**Выводы**

Разработанный многофункциональный робот-дезинфектор в зависимости от потребностей в дезинфекции помещения может использовать несколько режимов дезинфекции по отдельности или в любой комбинации [1, 4]. Также робот-спутник робота-дезинфектора обеспечивает одно-

временную влажную уборку помещения. Для ношения робота-спутника робот-дезинфектор оснащен механизмом подъема и спуска с гнездом для робота-спутника. Разработаны конструкция и ПКД многофункционального робота-дезинфектора, который будет работать в трех режимах: ультрафиолетового излучения, дезинфекции с распылением обеззараживающей жидкости и фильтрации воздуха (рециркуляции). Выполнен синтез четырехзвенного шарнирного механизма для подъема и спуска робота-спутника и получены размеры механизма. Проведено полное исследование кинематики четырехзвенного шарнирного механизма. Разработана компьютерная модель кинематического анализа четырехзвенного механизма, предназначенного для подъема и спуска робота-спутника.

Недостатком такой конструкции может быть сложность изготовления отдельных деталей.

**Финансовая поддержка.** Исследование поддержано в рамках проекта по программно-целевому финансированию на 2021-2023 г. МОН РК №О.0971 «Разработка и внедрение медицинских роботов и интеллектуальных систем в Казахстане для совершенствования системы диагностики и лечения пациентов в условиях пандемии».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tuleshov A., Jamalov N., Imanbayeva N., Rakhmatulina A. Design and Construction of a Multifunctional Disinfection Robot // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2022. – Vol. 115, no. 1. – pp. 16-28.
2. Guang-Zhong Y., Bradley J.N., Robin R.M., Howie C., Henrik C., Steven H.C., Paolo D., and others. Combating COVID-19 – The role of robotics in managing public health and infectious diseases // Science robotics. – 2020. Vol. 5, no. 40.
3. McKeen L. Introduction to Food Irradiation and Medical Sterilization. In The Effect of Sterilization on Plastics and Elastomers, 3rd ed.; McKeen, L., Ed.; Plastics Design Library, William Andrew Publishing: Boston, MA, USA, 2012. – pp. 1-40.
4. Vickery K., Deva A., Jacombs A., Allan J., Valente P., Gosbell I. Presence of biofilm containing viable multiresistant organisms despite terminal cleaning on clinical surfaces in an intensive care unit // J. Hosp. Infect. – 2012. –Vol. 80, no. 1 – pp. 52-55.
5. Carling P., Huang S. Improving Healthcare Environmental Cleaning and Disinfection Current and Evolving Issues // Infection Control & Hospital Epidemiology. – 2013. – Vol. 34, no. 5. – pp. 507-513.
6. Сверхмощный и безопасный UVD-робот для дезинфекции помещений и поверхностей. <https://ufrobot.ru/> 17.05.2022.
7. Chanprakon P., Sae-Oung T., Treebupachatsakul T., Hannanta-Anan P., Piyawattanametha W. An Ultra-violet sterilization robot for disinfection // In Proceedings of the 2019 5th ICEAST, Luang Prabang: Laos, 2-5 July 2019. – pp. 168-171.
8. Automating UV Disinfection Process Safely and Wisely. <https://web.omron-ap.com/th/ld-uvc> 27.04.2022.
9. Akara. <https://www.akara.ai/#intro> 10.05.2022.
10. Milagrow floor robots <https://milagrowhumantech.com/healthcare-robots/1105-robocop-indoor-disinfection-robot.html> 02.05.2022.

### **Бөлмелерді ылғалды тазалауы бар көпфункционалы робот-дезинфектордың құрылымын дамыту және жобалау**

<sup>1</sup>ТУЛЕШОВ Амандық Куатович, т.ғ.д., бас атқарушы директор, [aman\\_58@mail.ru](mailto:aman_58@mail.ru),

<sup>1</sup>ИБРАЕВ Саят Мұратұлы, т.ғ.д., бас ғылыми қызметкер, [sayat\\_m.ibrayev@mail.ru](mailto:sayat_m.ibrayev@mail.ru),

<sup>1</sup>ИМАНБАЕВА Нурбиби Сайрамовна, PhD, доцент, [imanbaevan@mail.ru](mailto:imanbaevan@mail.ru),

<sup>1</sup>\*РАХМАТУЛИНА Аяулым Багдатовна, PhD, қауымдастырылған профессор, [kazrah@mail.ru](mailto:kazrah@mail.ru),

<sup>2</sup>УДЕРБАЕВА Асемгуль Еркінбековна, PhD, қауымдастырылған профессор, [a.uderbayeva@satbayev.university](mailto:a.uderbayeva@satbayev.university),

<sup>1</sup>Академик Ө.А. Жолдасбеков атындағы механика және машинатану институты, Қазақстан, Алматы, Құрманғазы көшесі, 29,

<sup>2</sup>«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Қазақстан, Алматы, Сәтбаев көшесі, 22а,

\*автор-корреспондент.

**Аңдатпа.** Мақалада жоспарланған немесе жедел дезинфекциямен қатар бөлмелерді ылғалды тазартуды автоматтандыруға арналған жетілдірілген робот ұсынылған [1]. Робот аралас типтегі роботтарға жатады. Мақаланың мақсаты робот-дезинфекторлардың функционалдық сипаттамаларын жақсарту болып табылады. Ол үшін көпфункционалды робот-дезинфектор бір мезгілде робот-серікпен ылғалды тазарта отырып сапалы дезинфекциялауды іске асырады. Робот үш функционалды бөліктен тұрады: амбебап мобильді платформа (төменгі бөлігі) және дезинфектордың өзі (жоғарғы бөлігі), қажет болған жағдайда қызметкерлер 4 дөңгелегі бар жоғарғы бөлігін еркін алып жүре алады [1]. Сондай-ақ, роботтың жоғарғы жағына ылғалды тазалау үшін робот спутнигін көтеруге және түсіруге арналған арнайы көтеру механизмі бекітілген. Көпфункционалды робот-дезинфектордың 3D-моделі Inventor бағдарламалық кешенінде орындалған. Робот-дезинфектормен робот-серікті алып жүруге арналған көтеру механизмінің кинематикалық есептері түйықталған векторлық контурлар әдісімен жасалады. Көтеру механизмінің синтезі квадраттық жуықтау әдісімен жасалады.

**Кілт сөздер:** көп функционалды дезинфекциялық робот, COVID-19 пандемиясы, ультрафиолет шамдары, дезинфекцияның аралас түрі, робот-серік, бекітілген механизм, медициналық робот, кинематикалық талдау, синтез.

### *Development of the Design and Design of a Multifunctional Robot-disinfector with Wet Cleaning of the Premises*

<sup>1</sup>TULESHOV Amandyk, Dr. of Tech. Sci., General Director, Senior Lecturer, aman\_58@mail.ru,

<sup>1</sup>IBRAYEV Sayat, Dr. of Tech. Sci., General Researcher, sayat\_m.ibrayev@mail.ru,

<sup>1</sup>IMANBAEVA Nurbibi, PhD, Associate Professor, imanbaevan@mail.ru,

<sup>1</sup>\*RAKHMATULINA Ayaulym, PhD, Associate Professor, kazrah@mail.ru,

<sup>2</sup>UDERBAYEVA Assemgul, PhD, Associate Professor, a.uderbayeva@satbayev.university,

<sup>1</sup>Institute of Mechanics and Engineering named after academician U.A. Dzholdasbekov, Kazakhstan, Almaty, Kurmangazy Street, 29,

<sup>2</sup>NCJSC «Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev», Kazakhstan, Almaty, Satpayev Street, 22a,

\*corresponding author.

**Abstract.** The article proposes an improved robot designed to automate scheduled or emergency disinfection [1] and wet cleaning in enclosed spaces. The robot belongs to the combined type robots. The purpose of this article is to improve the functional characteristics of disinfection robots. For this purpose, a multifunctional robot-disinfector with a satellite robot is proposed, which performs wet cleaning of the premises for better disinfection. The robot consists of three functional parts: a universal mobile platform (lower part) and the disinfector itself (upper part), which, if necessary, can be freely moved by personnel on 4 wheels [1]. A special lifting mechanism is attached to the top of the robot, designed to raise and lower the robot satellite for wet cleaning. The 3D model of a multifunctional robot-disinfector is made in the environment of the Inventor software package. Kinematic calculations of the lifting mechanism for carrying the robot-satellite by the robot-disinfector are made by the method of closed vector contours. The synthesis of the lifting mechanism is carried out by the method of quadratic approximation.

**Keywords:** multifunctional disinfection robot, COVID-19 pandemic, UV lamps, combined type of disinfection, satellite robot, lifting mechanism, medical robot, kinematic analysis, synthesis.

## REFERENCES

1. Tuleshov A., Jamalov N., Imanbayeva N., Rakhmatulina A. Design and Construction of a Multifunctional Disinfection Robot // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2022. – Vol. 115, no. 1. – pp. 16-28.
2. Guang-Zhong Y., Bradley J.N., Robin R.M., Howie C., Henrik C., Steven H.C., Paolo D., and others. Combating COVID-19 – The role of robotics in managing public health and infectious diseases // Science robotics. – 2020. Vol. 5, no. 40.
3. McKeen L. Introduction to Food Irradiation and Medical Sterilization. In The Effect of Sterilization on Plastics and Elastomers, 3rd ed.; McKeen, L., Ed.; Plastics Design Library, William Andrew Publishing: Boston, MA, USA, 2012. – pp. 1-40.
4. Vickery K., Deva A., Jacombs A., Allan J., Valente P., Gosbell I. Presence of biofilm containing viable multiresistant organisms despite terminal cleaning on clinical surfaces in an intensive care unit // J. Hosp. Infect. – 2012. –Vol. 80, no. 1 – pp. 52-55.
5. Carling P., Huang S. Improving Healthcare Environmental Cleaning and Disinfection Current and Evolving Issues // Infection Control & Hospital Epidemiology. – 2013. – Vol. 34, no. 5. – pp. 507-513.
6. Сверхмощный и безопасный UVD-робот для дезинфекции помещений и поверхностей. <https://ufrobot.ru/> 17.05.2022.
7. Chanprakon P., Sae-Oung T., Treebupachatsakul T., Hannanta-Anan P., Piyawattanametha W. An Ultra-violet sterilization robot for disinfection // In Proceedings of the 2019 5th ICEAST, Luang Prabang: Laos, 2-5 July 2019. – pp. 168-171.
8. Automating UV Disinfection Process Safely and Wisely. <https://web.omron-ap.com/th/ld-uvc> 27.04.2022.
9. Akara. <https://www.akara.ai/#intro> 10.05.2022.
10. Milagrow floor robots <https://milagrowhumantech.com/healthcare-robots/1105-robocop-indoor-disinfection-robot.html> 02.05.2022.