

**Л.Ю. Ворочаева**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: mila180888@yandex.ru)

**А.В. Мальчиков**, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: zveroknnp@gmail.com)

**С.И. Савин**, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) юзгу (e-mail: savinswsu@mail.ru)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАПАЗОНОВ ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕСНОГО ПРЫГАЮЩЕГО РОБОТА

*Применение роботов для выполнения задач, традиционно возлагаемых на людей, приводит к снижению связанных с ними расходов и рисков и повышению качества проделанной работы. Характерным примером тому являются задачи мониторинга и обследования труднодоступных территорий. Внедрение роботов для решения таких задач может принести значительный экономический и социальный эффект, позволив автоматизировать ряд сложных, трудоемких и потенциально опасных работ, таких как составление и актуализация карт и трёхмерных моделей мест возникновения чрезвычайных ситуаций, сбор данных о состоянии окружающей среды в зонах, подвергшихся биологическому или радиационному заражению, непрерывный мониторинг состояния окружающей среды, отбор проб воздуха и почвы и др.*

*В работе рассматривается одна из возможных конструкций роботов для автоматизации задач мониторинга - колесный прыгающий робот, который представляет собой разгонный модуль и колесную платформу. Разгонный модуль установлен в корпусе и обеспечивает осуществление прыжков для преодоления препятствий, а колесная платформа, также соединенная с корпусом, позволяет роботу катиться на колесах по поверхности с небольшими неровностями. К преимуществам такой комбинированной системы можно отнести более высокие маневренность, быстродействие, проходимость и скорость перемещения, а также более широкие функциональные возможности, связанные с реализацией движения робота по поверхностям различных рельефов.*

*Для данного робота разработана расчетная схема, на основании которой определены два критических положения устройства, позволяющие сформулировать условия, накладывающие ограничения на геометрические параметры корпуса, разгонного модуля и колес, а также их взаимного расположения, которые обеспечивают функционирование робота в двух режимах: колесном и прыжковом. Представлены результаты моделирования в виде допустимых диапазонов значений длины и высоты корпуса, а также зависимостей наибольшей длины разгонного модуля от расположения точки установки колес в корпусе при условии возможности полного оборота разгонного модуля внутри корпуса.*

**Ключевые слова:** колесный прыгающий робот, разгонный модуль, геометрические параметры, колесная платформа.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-2-76-84

**Ссылка для цитирования:** Ворочаева Л.Ю., Мальчиков А.В., Савин С.И. Определение диапазонов допустимых значений геометрических параметров колесного прыгающего робота // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 2(77). С. 76-84.

\*\*\*

### Введение

Конструкции роботов, используемых для мониторинга окружающей среды и обследования труднодоступных территорий, а также принципы их движения разнообразны. Как правило это колесные [1, 2], гусеничные [3, 4], шагающие [5, 6] или комбинированные системы [7-10]. В данной работе остановимся на рассмотрении прыгающего робота [11-13], дополни-

тельно оснащенного колесной платформой для повышения маневренности и быстродействия при движении по пересеченной местности с препятствиями. Целью работы является определение диапазонов допустимых значений геометрических параметров этого робота, позволяющих ему перемещаться как посредством прыжков, так и с помощью качения.

## Описание робота

В данной работе будем рассматривать колесного прыгающего робота, расчетная схема которого приведена на рисунке 1. Робот состоит из корпуса 1, разгонного модуля, образованного звеньями 2 и 3, представляющими собой поступательную пару, и колес 4. Корпус имеет форму прямоугольника с размерами  $l \times h$ , звенья разгонного модуля являются стержнями, их общая длина равна  $k$ . Раз-

гонный модуль обладает возможностью поворачиваться на угол  $\varphi$ , отсчитываемый от горизонтали против часовой стрелки, относительно центра симметрии корпуса за счет пары вращения. Колеса радиуса  $R$  установлены в корпусе с возможностью вращения относительно него и удалены от центра симметрии на расстояния  $a$  и  $b$  по горизонтали и вертикали, где  $a$  и  $b$  являются регулируемыми величинами, т.е. клиренс колесной платформы варьируемый.

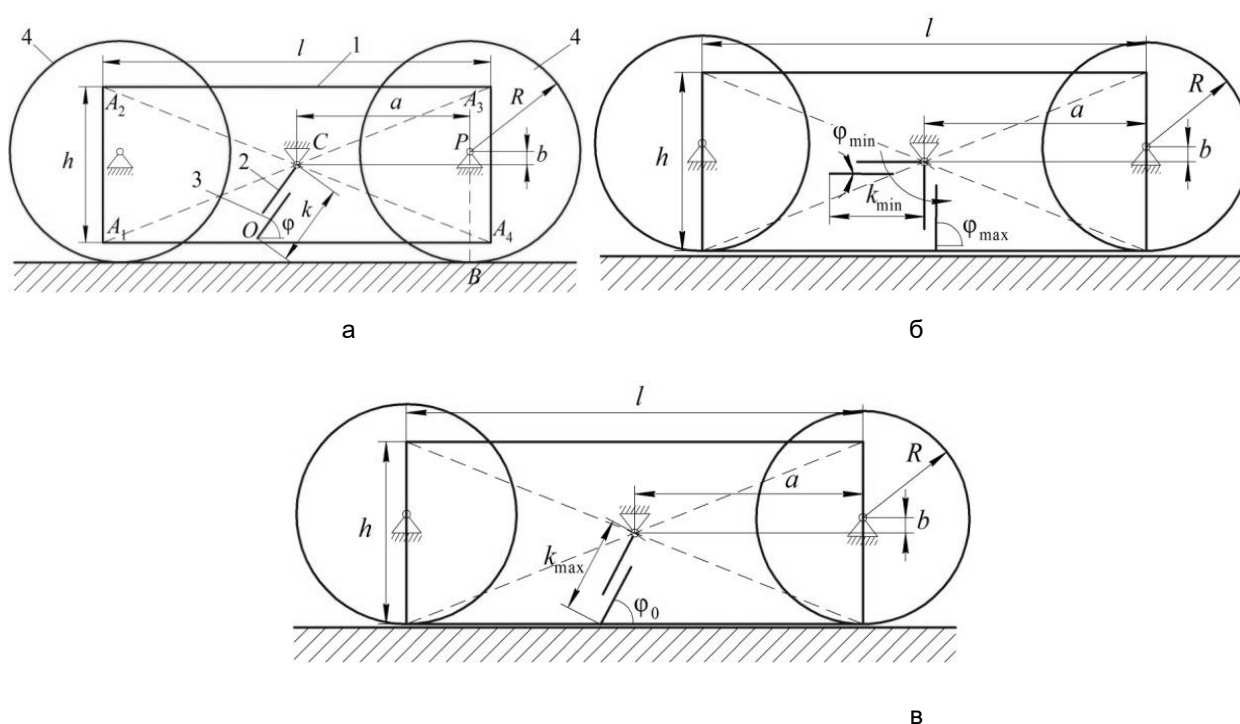


Рис. 1. Расчетные схемы робота: а – обобщенная; б, в – особых критических положений для определения минимальных (б) и максимальных (в) размеров корпуса

Принцип движения описанного робота заключается в следующем. Во время перемещения по поверхности с небольшими неровностями робот представляет собой колесную платформу с управляемым клиренсом, при необходимости преодоления препятствия, например, забора, узкой щели и т.д., робот трансформируется в прыгающую систему. При этом движение на колесах прекращается, разгонный модуль поворачивается внутри

корпуса, располагаясь под необходимым для прыжка углом к горизонту  $\varphi_0$ , затем резко выдвигается из корпуса, отталкивается от поверхности и устройство совершает прыжок, после которого приземляется на колеса.

Отметим, что в работе рассматривается симметричная относительно горизонтальной и вертикальной осей система, что позволяет сохранить работоспособ-

ность робота вне зависимости от того, на какую сторону тот приземлился после прыжка. Это является преимуществом подобной схемы в сравнении с альтернативными вариантами в связи с возможностью неконтролируемого вращения робота в полете.

### Определение геометрических соотношений

Данный колесный прыгающий робот представляет собой сложную систему, качество функционирования которой зависит от выбора геометрических параметров корпуса, разгонного модуля и колес.

Геометрические параметры, требующие согласования между собой, следующие:  $l$ ,  $h$  – длина и высота корпуса,  $k$ ,  $\varphi$  – длина звеньев разгонного модуля и угол его наклона к горизонтали,  $R$ ,  $a$ ,  $b$  – радиус колеса и размеры, определяющие положение его оси в корпусе.

Для записи условий, связывающих между собой эти параметры, рассмотрим два критических положения робота, показанные на рис. 1, б, в. В положении рис. 1, б объект находится тогда, когда представляет собой колесную платформу или осуществляет подготовку к прыжку. Разгонный модуль имеет минимальную длину  $k_{\min}$  и располагается под углом  $\varphi_{\min} = 0$  к горизонту. При подготовке к прыжку разгонный модуль поворачивается внутри корпуса, причем поворот может осуществляться до угла  $\varphi_{\max} = 90^\circ$ . Колеса расположены в корпусе таким образом (расстояния  $a$  и  $b$ ), что точки  $A_4$  и  $B$  совпадают, а ординаты точек  $P$  и  $B$  равны между собой:

$$x_{A4} = x_B, y_{A4} = y_B, y_P = y_B. \quad (1)$$

Это положение робота позволяет сформулировать требования к минимальным значениям параметров:

$$a_{\min} = R, b_{\min} = R, k_{\min} = \frac{k_{\max}}{2},$$

$$l_{\min} = \max(2k_{\min}, 2a_{\min}), h_{\min} = 2k_{\min}. \quad (2)$$

В положении, показанном на рис. 1, в, робот находится в момент отрыва от поверхности при прыжке. В этом случае разгонный модуль имеет наибольшую длину  $k_{\max}$  и располагается под углом  $\varphi_0$  к горизонту, максимальное значение которого равно  $\varphi_0 = \varphi_{\max}$ . В этом положении возможна формулировка требований к максимальным значениям параметров:

$$a_{\max} = uR, b_{\max} = R, k_{\max} = \frac{R-b}{\sin \varphi_0},$$

$$l_{\max} = 2a_{\max}, h_{\max} = 2(R-b), \quad (3)$$

где  $u > 1$  – коэффициент.

Радиус колеса может принимать любые значения, условно будем считать, что они ограничены его наименьшим  $R_{\min}$  и наибольшим  $R_{\max}$  значениями.

В результате введенных геометрических соотношений получаем диапазоны изменения семи параметров:

$$R \in [R_{\min}, R_{\max}], \varphi_0 \in [0^\circ, 90^\circ], \quad (4)$$

$$a \in [R, uR], \quad b \in [-R, R],$$

$$k \in \left[ \frac{R-b}{2 \sin \varphi_0}, \frac{R-b}{\sin \varphi_0} \right], \quad (5)$$

$$l \in [\max(2k_{\min}, 2a_{\min}), 2a_{\max}],$$

$$h \in [2k_{\min}, 2(R-b)]. \quad (6)$$

Помимо введенных ограничений на размеры корпуса могут быть наложены дополнительные условия, учитывающие соотношение между длиной и высотой корпуса:

$$l = ph, \quad (7)$$

где  $p$  – коэффициент.

Тогда диапазоны допустимых значений размеров корпуса могут быть записаны в виде

$$l \in [\max(2k_{\min}, 2a_{\min}, ph_{\min}), \min(2a_{\max}, ph_{\max})], \quad (8)$$

$$h \in [\max(2k_{\min}, \frac{l_{\min}}{p}), \min(2(R-b), \frac{l_{\max}}{p})]. \quad (9)$$

Перейдем к моделированию геометрических областей допустимых значений параметров.

### Результаты моделирования

Проведем моделирование для робота со следующими размерами:  $R=10$  см,

$a=1.6R$  см,  $b \in [-0.8R, 0.8R]$ ,  $\varphi_0 = 90^\circ$ ,  $p \in [0.5, 2]$ . Целью моделирования является установление влияния на диапазоны размеров корпуса и значение наибольшей длины разгонного модуля параметров  $b$  и  $p$ . Результаты моделирования приведены на рис. 2-4.

На рис. 2, 3 приняты следующие обозначения:

$$l_{\min}^{(1)} = 2k_{\min}, l_{\min}^{(2)} = 2a_{\min}, l_{\min}^{(3)} = 2pk_{\min}, \\ l_{\max}^{(1)} = 2a_{\max}, l_{\max}^{(2)} = 2p(R-b), \quad (10)$$

$$h_{\min}^{(1)} = 2k_{\min}, h_{\min}^{(2)} = \frac{2k_{\min}}{p}, h_{\min}^{(3)} = \frac{2a_{\min}}{p},$$

$$h_{\max}^{(1)} = 2(R-b), h_{\max}^{(2)} = \frac{2a_{\max}}{p}. \quad (11)$$

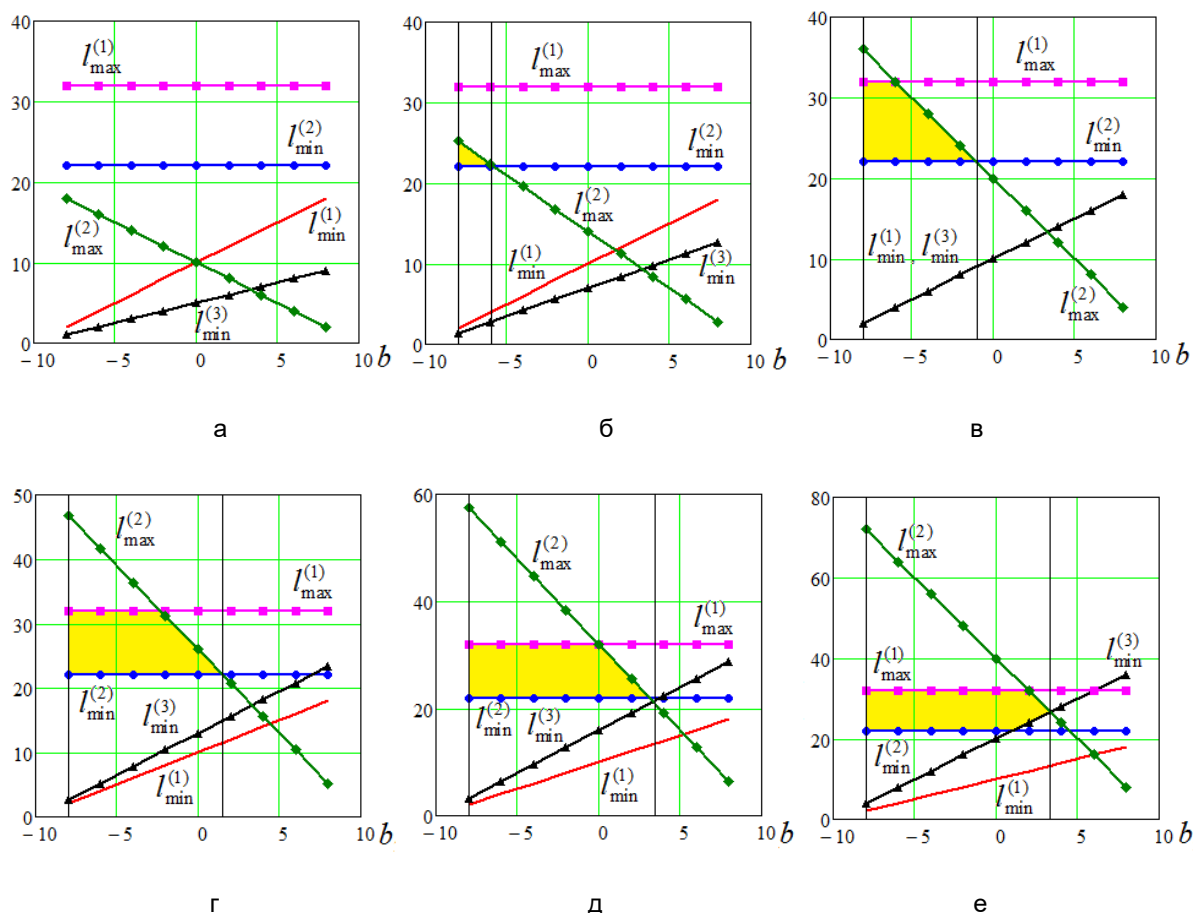


Рис.2. Графики диапазонов  $l(b)$ : а –  $p = 0.5$ , б –  $p = 0.7$ , в –  $p = 1$ , г –  $p = 1.3$ , д –  $p = 1.6$ , е –  $p = 2$

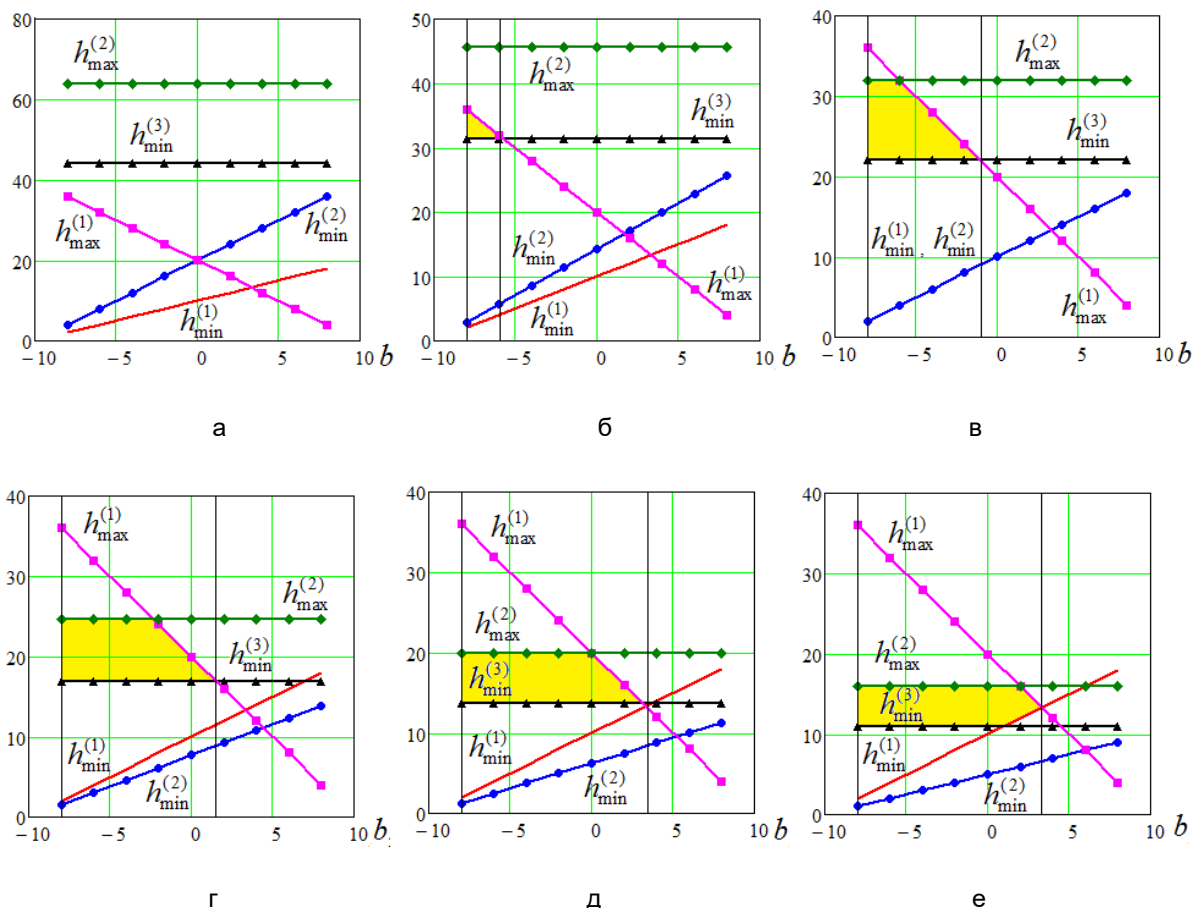


Рис.3. Графики диапазонов  $h(b)$ : а –  $p = 0.5$ , б –  $p = 0.7$ , в –  $p = 1$ , г –  $p = 1.3$ , д –  $p = 1.6$ , е –  $p = 2$

По приведенным на рис. 2, 3 диапазонам длины и высоты корпуса видно, что при малом значении параметра  $p$  не существует области допустимых значений  $l$  и  $h$ , т.е. корпус данного робота не может быть очень длинным и очень низким. По мере увеличения  $p$  появляется треугольная область допустимых значений этих параметров, затем она становится трапецидальной, а при  $p = 2$  представляет собой пятиугольник.

Причем можно отметить следующие закономерности:

$$\begin{aligned} l_{\min}^{(1)} &> l_{\min}^{(3)} \text{ при } p < 1, \\ l_{\min}^{(1)} &= l_{\min}^{(3)} \text{ при } p = 1, \\ l_{\min}^{(1)} &< l_{\min}^{(3)} \text{ при } p > 1. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{\min}^{(2)} &> h_{\min}^{(1)} \text{ при } p < 1, \\ h_{\min}^{(2)} &= h_{\min}^{(1)} \text{ при } p = 1, \\ h_{\min}^{(2)} &< h_{\min}^{(1)} \text{ при } p > 1. \end{aligned} \quad (12)$$

Помимо этого при  $p \leq 1$  значения  $l_{\min}^{(1)}$  и  $l_{\min}^{(3)}$  не участвуют в формировании диапазона значений длины корпуса, а при  $p > 1$   $l_{\min}^{(3)}$  является границей указанного диапазона, причем при  $p = 1.6$  эта граница точечная, а при  $p > 1.6$  – участок прямой, появляющийся по мере увеличения параметра  $b$ . При  $p \leq 1.6$  и при малых значениях  $b$  для  $p > 1.6$  минимальная длина корпуса ограничена значением  $l_{\min}^{(2)} = \text{const}$ . Для максимальной длины корпуса можно сформулировать следующие закономерности. При  $p < 1$  получим

$l_{\max} = l_{\max}^{(2)}$ , при  $p \geq 1$  для малых значений  $b$  имеет место равенство  $l_{\max} = l_{\max}^{(1)}$ , по мере увеличения  $b$  имеем  $l_{\max} = l_{\max}^{(2)}$ .

Аналогичные зависимости можно проследить и для областей допустимых значений высоты корпуса, только вместо

$$l_{\min}(h_{\min}) = \begin{cases} l_{\min}^{(2)}(h_{\min}^{(3)}) & \text{при } [p \in (0.5, 1.6) \wedge b \in [b_{\min}, b_{\max}]] \vee \\ & [(p = 2) \wedge b \in [b_{\min}, b^*]] \\ l_{\min}^{(3)}(h_{\min}^{(1)}) & \text{при } [(p = 2) \wedge b \in (b^*, b_{\max}]] \end{cases} \quad (13)$$

где  $b^*$  – значение  $b$ , при котором происходит пересечение прямых  $l_{\min}^{(2)}$  и  $l_{\min}^{(3)}$ ,  $h_{\min}^{(1)}$  и  $h_{\min}^{(3)}$ .

$$l_{\max}(h_{\max}) = \begin{cases} l_{\max}^{(2)}(h_{\max}^{(1)}) & \text{при } [p \in (0.5, 1) \wedge b \in [b_{\min}, b_{\max}]] \vee \\ & [p \in (1, 2) \wedge b \in (b^{**}, b_{\max}]] \\ l_{\max}^{(1)}(h_{\max}^{(2)}) & \text{при } [p = 1.3 \wedge b \in [b_{\min}, b^{**}]] \end{cases} \quad (14)$$

где  $b^{**}$  – значение  $b$ , при котором происходит пересечение прямых  $l_{\max}^{(1)}$  и  $l_{\max}^{(2)}$ ,  $h_{\max}^{(1)}$  и  $h_{\max}^{(2)}$ .

По графикам рис. 4, а видно, что зависимость  $k_{\max}(b)$  представляет собой наклонную прямую, на которую не влияет коэффициент  $p$  (угол наклона прямой  $k_{\max}(b)$  при  $p \in [0.5, 2]$  является фиксированной величиной). Предельные значения  $k_{\max}$  определяются границами диапазонов допустимых значений  $b$ , в свою очередь зависящих от параметра  $p$ .

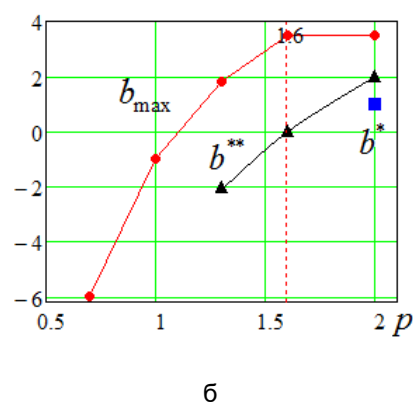
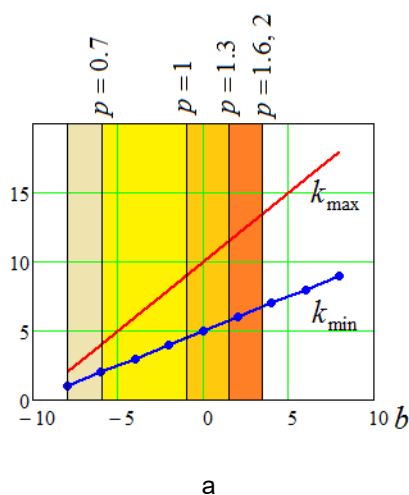


Рис. 4. Графики зависимостей: а –  $k_{\max}(b)$ ,  $k_{\min}(b)$ , б –  $b_{\max}(p)$ ,  $b^*(p)$ ,  $b^{**}(p)$

Помимо этого, по данным графикам можно увидеть диапазоны допустимых значений параметра  $b$ : его минимальное значение всегда соответствует  $b = -0.8R$ , а максимальное возрастает с увеличением

коэффициента  $p$ , при  $p \leq 1$  это значение отрицательное, а при  $p > 1$  – положительное. Причем наибольшее значение параметра  $b = 3.5$  достигается при  $p = 1.6$ , когда в одной точке пересекаются три

прямые ограничения длины:  $l_{\min}^{(2)}$ ,  $l_{\min}^{(3)}$  и  $l_{\max}^{(2)}$ , и по мере дальнейшего увеличения  $p$  это значение остается неизменным (рис. 4, б).

### Заключение

В работе рассмотрен прыгающий робот, состоящий из корпуса, разгонного модуля и колесной платформы. Разгонный модуль представляет собой поступательную пару и установлен в корпусе робота с возможностью поворота относительно последнего. Колесная платформа предназначена для расширения функциональных возможностей робота, повышения его маневренности и быстродействия. Для функционирования этого робота в двух режимах: как колесной платформы и как прыгающей системы, были сформулированы условия, ограничивающие диапазоны возможных значений геометрических параметров корпуса, разгонного модуля и колес, а также их взаимного расположения. В результате численного моделирования установлено влияние параметра, определяющего высоту расположения оси вращения колеса в корпусе, на длину и высоту корпуса, а также длину разгонного модуля с учетом требуемого соотношения между длиной и высотой последнего.

*Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 18-31-00075.*

### Список литературы

1. Мартыненко Ю.Г. Управление движением мобильных колёсных роботов // *Фундаментальная и прикладная математика*. 2005. Т. 11. № 8. С. 29-80.
2. Фан А.Т., Воротников С.А. Система управления легким разведывательным роботом // *Вестник Московского гос. техн. ун-та им. Н.Э. Баумана. Серия Приборостроение*. 2008. № 3. С. 38-45.
3. Шасси робототехнического комплекса мониторинга прибрежной зоны / В.В. Беляков, А.А. Куркин, Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров // *Материалы 87-й Международной научно-технической конф. "Эксплуатационная безопасность автотранспортных средств"*. Н. Новгород, 2014. С. 353-357.
4. Макаров В.С. Разработка научно обоснованных технических решений по созданию подвижных комплексов мониторинга береговых зон // *Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева*. 2017. № 3. С. 157-167.
5. Гаврилов А.Е., Голубев Д.В., Даншин А.С. Роботизированная транспортная платформа с шагающим ортогональным движителем // *Известия ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах»*. 2013. № 24 (127). С. 15–22.
6. Робот для диагностики вредных примесей в воздухе / Е.В. Поезжаева, К.Н. Поликарпова, А.А. Новикова, В.А. Сайкинова // *Известия института инженерной физики*. 2016. Т. 4. № 42. С. 76-78.
7. Kalantari A., Spenko M. Modeling and Performance Assessment of the HyTAQ, a Hybrid Terrestrial/Aerial Quadrotor // *IEEE Transactions on Robotics*. Vol. 30. № 5. P. 1278 - 1285.
8. Kovač M., Hraiz W., Fauria O., Zufferey J.-C., Floreano D. The EPFL jumpglider: A hybrid jumping and gliding robot with rigid or folding wings // *Proc. IEEE Intern. Conf. Robotics and Biomimetics (ROBIO)*. Karon Beach, Phuket, Thailand, 2011.
9. Woodward M. A., Sitti M. MultiMo-Bat: A biologically inspired integrated jumping-gliding robot // *Intern. J. of Robotics*

Research. 2014. Vol. 33. № 12. P. 1511-1529.

10. Salton J. R. Urban Hopper // SPIE Defense, Security and Sensing. Orlando, Florida, USA., 2010.

11. Яцун С.Ф., Волкова Л.Ю. Управление высотой и длиной прыжка робота путем его позиционирования и разгона // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2012. № 2. Ч. 1 С. 210-213.

12. Yatsun S.F., Volkova L.Yu. Simulation of Motion of a Multilink Jumping Robot

and Investigation of Its Characteristics // J. of Computer and Systems Sciences International. 2013. Vol. 52. №. 4. P. 637–649.

13. Яцун С.Ф., Волкова Л.Ю., Ворочаев А.В. Исследование режимов разгона четырехзвенного прыгающего аппарата // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2013. № 24 (127). С. 86-92.

*Поступила в редакцию 05.03.18*

---

UDC 621.865.8

**L.Yu. Vorochaeva**, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: mila180888@yandex.ru)

**A.V. Malchikov**, Candidate of Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: zveroknnp@gmail.com)

**S.I. Savin**, phd, Senior Researcher, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: savinswsu@mail.ru)

## **RANGES OF ADMISSIBLE VALUES OF GEOMETRIC PARAMETERS OF A WHEELED JUMPING ROBOT**

*The use of robots to perform tasks traditionally assigned to people leads to an improvement in the quality of their implementation, a reduction in the costs and risks associated with them. A typical example of this is the task of monitoring and examining hard-to-reach areas. The introduction of robots to solve such problems could bring a significant economic and social effect, allowing the automation of a number of complex, time-consuming and potentially dangerous tasks, such as the compilation and updating of maps and three-dimensional models of emergency sites, the collection of data on the state of the environment in areas, exposed to biological or radiation contamination, continuous monitoring of the state of the environment and sampling of air and soil.*

*The paper considers one of the possible designs of such robots: a wheeled jumping robot, which consists of an acceleration module for jumping (used to overcome obstacles), and a wheel platform, which allows the robot to use wheeled locomotion when moving over the surfaces with small irregularities. The advantages of such a combined system include higher maneuverability and higher speeds of movement, as well as a wider functionality in terms of the range of terrains suitable for movement.*

*For this robot, a design scheme has been developed and two critical positions of the device are identified, which allows to formulate conditions that impose limitations on the geometric parameters of the body, the acceleration module and the wheels, and their mutual arrangement, in order to ensure operation of the robot in two modes: wheeled and jumping. The results of modeling are presented in the form of permissible ranges for the length and height of the body, as well as the maximum length of the acceleration module from the radius of the wheels and the location of their installation point, taking into account the capability of the acceleration module to do a complete rotation within the robot's frame.*

**Key words:** wheeled jumping robot, acceleration module, geometric parameters, wheeled platform.

**DOI:** 10.21869/2223-1560-2018-22-2-76-84



**For citation:** Vorochaeva L.Yu., Malchikov A.V., Savin S.I. Ranges of Admissible Values of Geometric Parameters of a Wheeled Jumping Robot. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 2(77), pp. 76-84 (in Russ.).

\*\*\*

## Reference

1. Martynenko Yu. G. Motion control of mobile wheeled robots. *Fundamental and applied mathematics*, 2005, vol. 11. no. 8, pp. 29-80.
2. Fan A.T., Vorotnikov S.A. The control system of a light reconnaissance robot. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument making*, 2008, no. 3, pp. 38-45.
3. Belyakov V.V., Kurkin A.A., Zezyulin D.V., Makarov V.S. The chassis of the robotic complex for coastal zone monitoring. *Materials of the 87th Intern. Scientific and Technical Conf. "Operational safety of motor vehicles"*. N. Novgorod, 2014, pp. 353-357.
4. Makarov V.S. Development of scientifically sound technical solutions for the creation of mobile coastal zone monitoring complexes. *Transactions of NNSTU N.A. R.E. Alekseev*. 2017, no. 3, pp. 157-167.
5. Gavrilov A.E., Golubev D.V., Danshin A.S. Robotic transport platform with a stepping orthogonal thruster. *Izvestia Volgograd State Technical University. Series "Actual problems of management, computing hardware and informatics in engineering systems"*, 2013, no. 24 (127), pp. 15-22.
6. Poizhaeva E.V., Polikarpova K.N., Novikova A.A., Sikinova V.A. Robot for the diagnosis of harmful impurities in the air. *Izvestija Instituta inzhenernoy fiziki*, 2016, vol. 4, no. 42, pp. 76-78.
7. Kalantari A., Spenko M. Modeling and Performance Assessment of the HyTAQ, a Hybrid Terrestrial. Aerial Quadrotor. *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 30, no. 5, pp. 1278 - 1285.
8. Kovač M., Hraiz W., Fauria O., Zufferey J.-C., Floreano D. The EPFL jumpglider: A hybrid jumping and gliding robot with rigid or folding wings // *Proc. IEEE Intern. Conf. Robotics and Biomimetics (ROBIO)*. Karon Beach, Phuket, Thailand, 2011.
9. Woodward M. A., Sitti M. MultiMoBat: A biologically inspired integrated jumping-gliding robot. *Intern. J. of Robotics Research*, 2014, vol. 33, no. 12, pp. 1511-1529.
10. Salton J. R. Urban Hopper. *SPIE Defense, Security and Sensing*. Orlando, Florida, USA, 2010.
11. Yatsun S.F., Volkova L.Yu. Upravleniye vysotoy i dlinoy pryzhka robota putem ego pozitsionirovaniya i razgona. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii*, 2012, no. 2, pt. 1, pp. 210-213.
12. Yatsun S.F., Volkova L.Yu. Simulation of Motion of a Multilink Jumping Robot and Investigation of Its Characteristics. *J. of Computer and Systems Sciences International*, 2013, vol. 52, no. 4, pp. 637-649.
13. Yatsun S.F., Volkova L.Yu., Vorochaev A.V. Investigation of acceleration modes of the four-link jumping device. *Izvestia Volgograd State Technical University*, 2013, no. 24 (127), pp. 86-92.