

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 621.865, 629.3.038

DOI: 10.35211/1990-5297-2023-1-272-35-38

В. В. Арыканцев^{1,2,3}

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ ШАГАЮЩЕГО АППАРАТА*

¹ Волгоградский государственный технический университет

² Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия

³ Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова

E-mail: arvstu@mail.ru

В работе описан принцип определения грузоподъемности шагающего модульного аппаратного комплекса с использованием метода конечных элементов. Итеративным методом получена нагрузка, при которой механизм шагания удовлетворяет условию прочности конструкционного материала данного механизма.

Ключевые слова: мобильный робот, расчет на прочность, метод конечных элементов, моделирование.

V. V. Arykantsev^{1,2,3}

DETERMINATION OF THE LOADING CAPACITY OF THE WALKING DEVICE

¹ Volgograd State Technical University

² All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture

³ The Federal State Unitary Enterprise Dukhov Automatics Research Institute

The paper describes the principle of determining the carrying capacity of a walking modular hardware complex using the finite element method. An iterative method was used to obtain the load at which the walking mechanism satisfies the strength condition of the structural material of this mechanism.

Keywords: mobile robot, strength calculation, finite element method, modeling.

Мобильные шагающие роботы различных типов разрабатываются в настоящее время во всех развитых странах для применения в самых разных областях промышленности и сферах жизни человека [1–9]. Нередко их основной задачей является перемещение тяжелых грузов, в связи с этим возникает необходимость определения их максимальной грузоподъемности. В данном исследовании определяется максимальная несущая способность рабы шагающего модульного аппаратного комплекса МАК-1, разработанного в ВолгГТУ. Рама шагающего аппарата конструктивно включает в себя шагающие опоры (шагающие модули) правого и левого борта, соединенные между собой посредством трубчатой рамы. Рама аппарата сменная – она может меняться в зависимости от типа навесного оборудования. Шагающие опоры выполнены в виде полых несущих балок

(корпусных элементов «сухого» типа), на которых установлены шагающие движители и бортовой силовой электропривод.

Для определения максимальной грузоподъемности шагающего аппарата методом конечных элементов решалась пространственная задача нагружения рамы шагающего аппарата. При движении шагающего аппарата в реальных условиях возможно возникновение кратковременных ситуаций, когда робот с цикловыми шагающими движителями опирается только на две ноги, большую часть времени при шагании контакт робота с опорной поверхностью осуществляется минимум в трех точках [10–13]. Для уменьшения времени расчетов и упрощения обработки пространственной конечно-элементной модели задача решалась для одного механизма шагания, с определением предельной нагрузки, которая не способна вызвать пла-

© Арыканцев В. В., 2023.

* Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда и Администрации Волгоградской области № 22-21-20115, <https://rscf.ru/project/22-21-20115/>.

стические деформации в элементах механизма. Таким образом, коэффициент запаса прочности всего механизма шагания можно принять равным 2. Геометрическая модель механизма шагания представлена на рис. 1. Все элементы выполнены из сплава АД31 (6063-T62), за исклю-

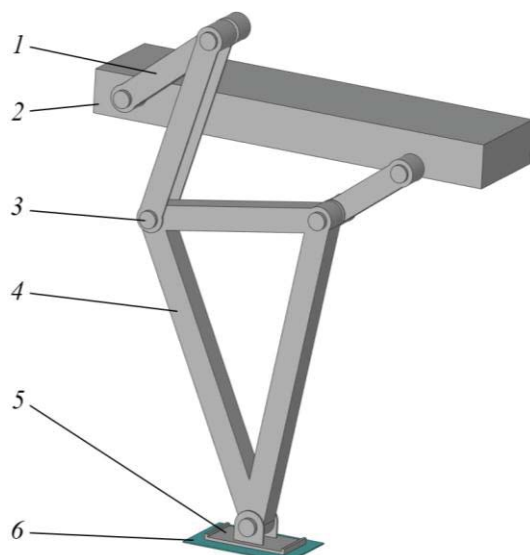


Рис. 1. Вид геометрической модели:
1 – ведущий кривошип; 2 – рама; 3 – палец; 4 – опорное звено; 5 – стопа; 6 – опорная поверхность

чением пальцев, в том числе принадлежащих раме, они выполнены из стали 45.

Взаимодействие между смежными деталями конструкции моделировалось при помощи автоматического одноповерхностного контакта. Палец рамы, в качестве допущения, жестко прикреплен к раме торцевой поверхностью с использованием жесткого контакта типа «поверхность-поверхность». В начальный момент времени между стопой и опорной поверхностью присутствует незначительный зазор, таким образом моделируется момент начала фазы контакта шагающего движителя с опорной поверхностью, такую задачу можно считать динамической.

Приложенная силовая нагрузка представлена распределенной по горизонтальной площадке в вертикальном направлении (вниз). Перемещения рамы ограничены в продольном и поперечном направлении, опорная поверхность не имеет степеней свободы (рис. 2). В реальности каждый движитель не может нагружаться мгновенно даже при быстром перемещении шагающего аппарата, поэтому в модели время нелинейного нагружения до постоянного максимального значения принято равным 8 мс (рис. 3).

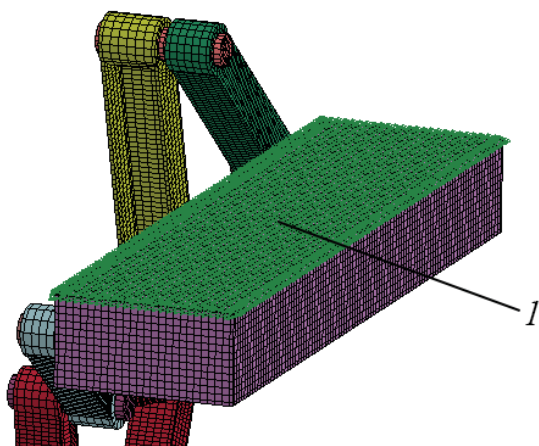
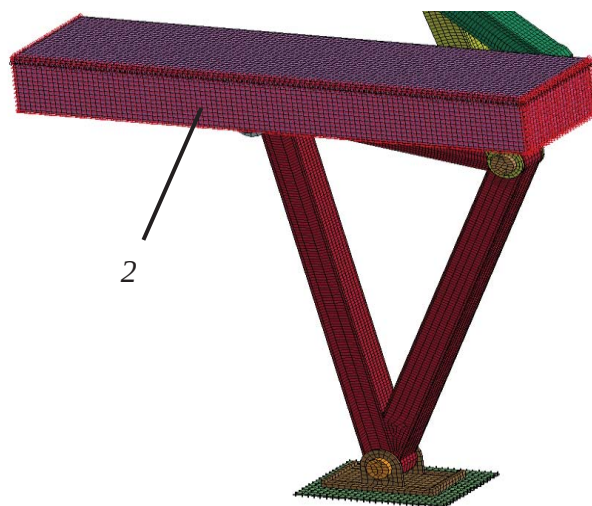


Рис. 2. Начальные условия модели:
1 – нагрузочная поверхность; 2 – ограничения движения корпуса



Разметка модели производилась вручную гексагональными элементами. Элементы сетки такого типа имеют менее жесткую форму, чем в

сетках с использованием тетраэдров, а также снижают общее время расчета.

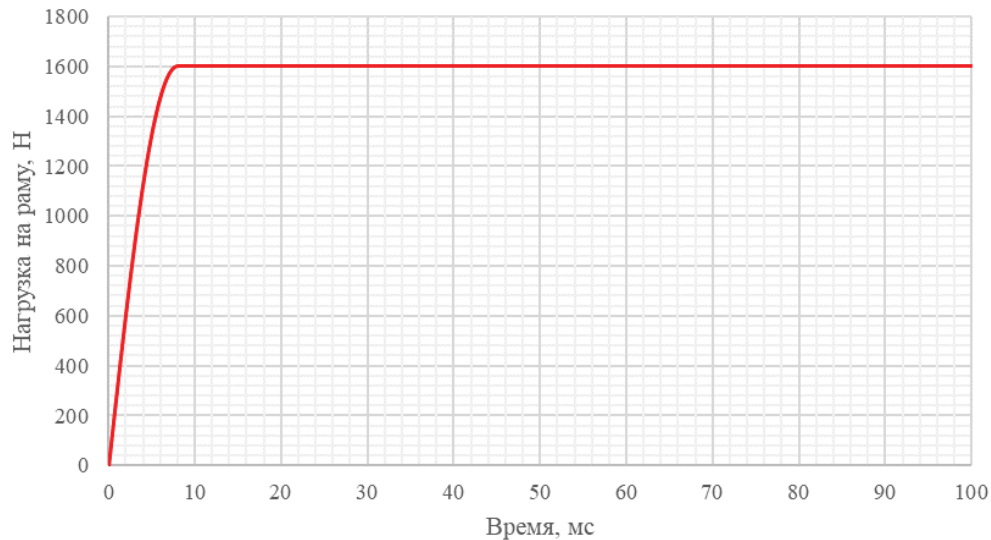


Рис. 3. Закон изменения нагрузки, кН

Максимальное напряжение по Мизесу в момент начала фазы контакта стопы с опорной поверхностью составляет порядка 66 МПа в области жесткого закрепления пальца к раме. Также напряжения концентрируются в области отверстий стопы, предназначенных для сочленения с опорным звеном. Зоны концентрации максимальных напряжений располагаются в се-

чении контакта пальцев с рамой. В процессе нагружения в раме возникает напряжение 209 МПа. Величина напряжений практически достигает значения предела текучести для материала АД31 (ближайший аналог сплава — 6063-T62) ГОСТ 4784–97, который равен 210 МПа. Результаты моделирования представлены на рис. 4.

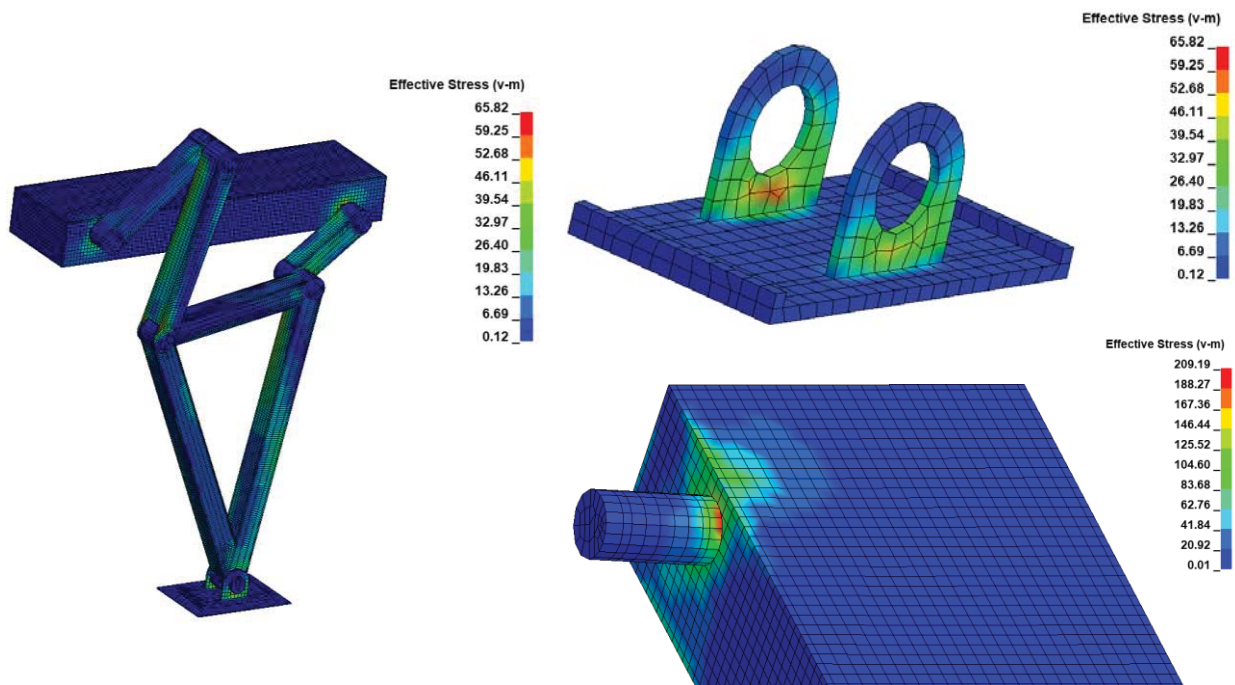


Рис. 4. Распределение напряжений в модели, МПа

Решение задачи было получено в несколько шагов. Итеративным методом получена нагрузка, при которой механизм шагания удовлетворяет условию прочности конструкционного ма-

териала данного механизма. При нагрузке в 1600 Н деформации находятся в упругой зоне. Итоговая грузоподъемность шагающего аппарата принята равной 160 кг. Реализуемый запас

прочности конструкции имеет величину равную 2, поэтому, согласно результатам расчета, данная нагрузка является безопасной для механизма шагания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sun, Y. Design of a snake robot based on modular joint / Y. Sun, F. Ni, Y. Zhou, Y. Zhang, Y. Liu, H. Liu // *Proceedings of the 22nd International Conference on Climbing and Walking Robots and Support Technologies for Mobile Machines (CLAWAR 2019)* – 2019. – pp. 53-60.
2. White, T. S. A Mobile Climbing Robot for High Precision Manufacture and Inspection of Aerostructures / T. S. White, R. Alexander, G. Callow, A. Cooke, S. Harris, J. Sargent // *The International Journal of Robotics Research* – 2005. – vol. 24. – pp. 589-598.
3. Verichev, S. Deep mining: from exploration to exploitation / S. Verichev, Laurens de Jonge, B. Wiebe, N. Rodney // *Minerals of the Ocean – 7 & Deep-Sea Minerals and Mining – 4: abstracts of International Conference / VNIIOkeangeologia. St. Petersburg, 2014. P. 126–138.*
4. Lin, Y. H. A searching technique for obstacle avoidance of autonomous underwater vehicles by using the selftuning fuzzy controller / Y. H. Lin, M. C. Fang, H. H. Chang // *Proc. of the Int. Conf. on Offshore Mechanics and Arctic Engineering OMAE Vol. 7. 2014.* – 8 p.
5. Briskin, E. S. Mathematical modeling of mobile robot motion with the support surface / E. S. Briskin, Ya.V. Kalinin, A. V. Maloletov, N.G. Sharonov // *9th Vienna International Conference on Mathematical Modelling (MATHMOD 2018): conf. proceedings, Austria, 2018, pp. 259-264.*
6. Чернышев, В. В. Опыт использования шагающей машины для ликвидации аварийного разлива нефти / В. В. Чернышев // *Безопасность жизнедеятельности.* – 2003. – № 5. – С. 28–30.
7. Малолетов, А. В. Оптимизация структуры, параметров и режимов движения шагающих машин со сдвоенными движителями : монография / А. В. Малолетов, Е. С. Брискин. – Волгоград. – 2015. – 175 с.
8. Яцун, С. Ф. Вибрационный мобильный робот для движения по вертикальной ферромагнитной стене / С. Ф. Яцун, А. А. Черепанов // *Естественные и технические науки.* – 2010. – №6 (50). – С. 400–401.
9. Аверьянов, Е. В. Исследование мобильного робота вертикального перемещения на основе пневмопривода с многоступенчатым торможением / Е. В. Аверьянов, С. А. Арфьян, В. Г. Градецкий, А. Е. Чередникова // *Автоматизация. Современные технологии.* – 2015. – № 9. – С. 3–7.
10. Чернышев, В. В. Устойчивость шагающих машин и роботов в подводных условиях / В. В. Чернышев, И. П. Вершинина, В. В. Арыканцев // *Известия ЮФУ. Технические науки.* – 2020. – № 1. – С. 52–66.
11. Чернышев, В. В. Динамическая устойчивость шагающих платформ передвигающихся по дну / В. В. Чернышев, И. П. Вершинина, В. В. Арыканцев // *Робототехника и искусственный интеллект : материалы XI всерос. науч.-техн. конф. (г. Железногорск, 14 декабря 2019 г.) / Сибирский федеральный ун-т, Межинститутская базовая кафедра «Прикладная физика и космические технологии».* – Красноярск, 2019. – С. 108–113.
12. Арыканцев, В. В. Повышение устойчивости шагающих машин путем управления положением корпуса / В. В. Арыканцев // *XXV Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области (24–27 ноября 2020 г.): сб.мат./ВолгГТУ.* – Волгоград, 2021. – С. 282–284.
13. Бандурко, А. В. Устойчивость роботизированных шагающих платформ в подводных условиях / А. В. Бандурко, А. С. Куденко // *XXIV Региональная конференция молодых ученых и исследователей Волгоградской области (3–6 декабря 2019 г.): сб. мат. конф. / ВолгГТУ.* – Волгоград, 2020. – С. 381–382.