DOI 10.52209/1609-1825_2024_2_66 УДК 622.232

Модели малокомпонентной робототехники для камерной выемки

[1]**БУЯЛИЧ Геннадий Даниилович,** *д.т.н., профессор, gdb@kuzstu.ru,*
[2]**ЖЕТЕСОВА Гульнара Сантаевна,** *д.т.н., профессор, zhetesova@mail.ru,*
[2]***БЕЙСЕМБАЕВ Каким Манапович,** *д.т.н., профессор, kakim08@mail.ru,*
[2]**АБДУГАЛИЕВА Гульнур Баймурзаевна,** *к.т.н., доцент, gulnura84@mail.ru,*
[2]**РЕШЕТНИКОВА Ольга Стасисовна,** *PhD, старший преподаватель, olga.reshetnikova.80@mail.ru,*
[1]Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, ул. Весенняя, 28, Кемерово, Россия,
[2]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,
**автор-корреспондент.*

Аннотация. *При камерной разработке твердых полезных ископаемых резко сокращается количество забойного оборудования, и вместо него можно использовать робототехнику (комбайн, поворотный скребковый конвейер и самоходные манипуляторы). Позиционирование сложных механизмов производится с помощью пакета динамического программирования Adams, а конструктивные узлы связаны шарнирами для движений по линиям, в плоскости и в объеме (Revolute joint, Translational joint, Primitives, Planar). Установлены основные базовые схемы этих механизмов, особенности траектории движения, распределения реакций в шарнирах, их ускорения; проведены исследования по обоснованию и уточнению области применения моделей. Для контроля результатов работы многотельных моделей создана тестирующая информационная система. Она реализована на основе экспериментально аналитического метода Артоболевского, с применением дискретных циклов движения механизмов в электронной таблице. Это позволяет разработать базовые технологичные конструкции робототехники и схемы их применения к малокомпонентной камерной выемке. Полученные результаты можно использовать для анализа изготовления и прочности деталей, зон их интенсивного износа.*

Ключевые слова: *плоскостные шарниры, робот-манипулятор, полусекция, конвейер, программа, камера.*

Введение. Дотационные схемы разработки угля, о которых сообщается в печати, связаны с разработкой сложно залегающих запасов. Так, в Карагандинском бассейне к ним относятся свыше четверти запасов. Традиционными технологиями длинных лав они добываться не могут из-за ограниченной их возможности двигаться в разрушенном горном массиве. В странах – основных добытчиков угля технология их отработки – камерная система. При этом основная добыча калийных солей также производится камерными системами [1, 2]. Недостатки камерной технологии:

- тупиковый забой приводит к повышенной энергоемкости выемки, затруднению его вентиляции, за счет наддува свежей струи и откачивания через рукав.
- выполнение обратного хода для выхода из камеры, а его сочетание с расширением камеры приводит к проблемам погрузки, так как механизмы рассчитаны на прямой ход.

Цель проведения исследований – устранение отмеченных недостатков и создание основ для разработки технологий сложнозалегающих запасов полезных ископаемых с применением робототехники.

Методы исследования

Системный анализ новых конструктивных схем робототехники, методика моделирования и позиционирования манипуляторов с применением технологии линеаризации уравнений динамики и созданием её новых элементов.

Улучшение работы возможно при использовании разворота короткого забоя на 180° с формированием бокового уступа. Это резко сокращает монтажно-демонтажные

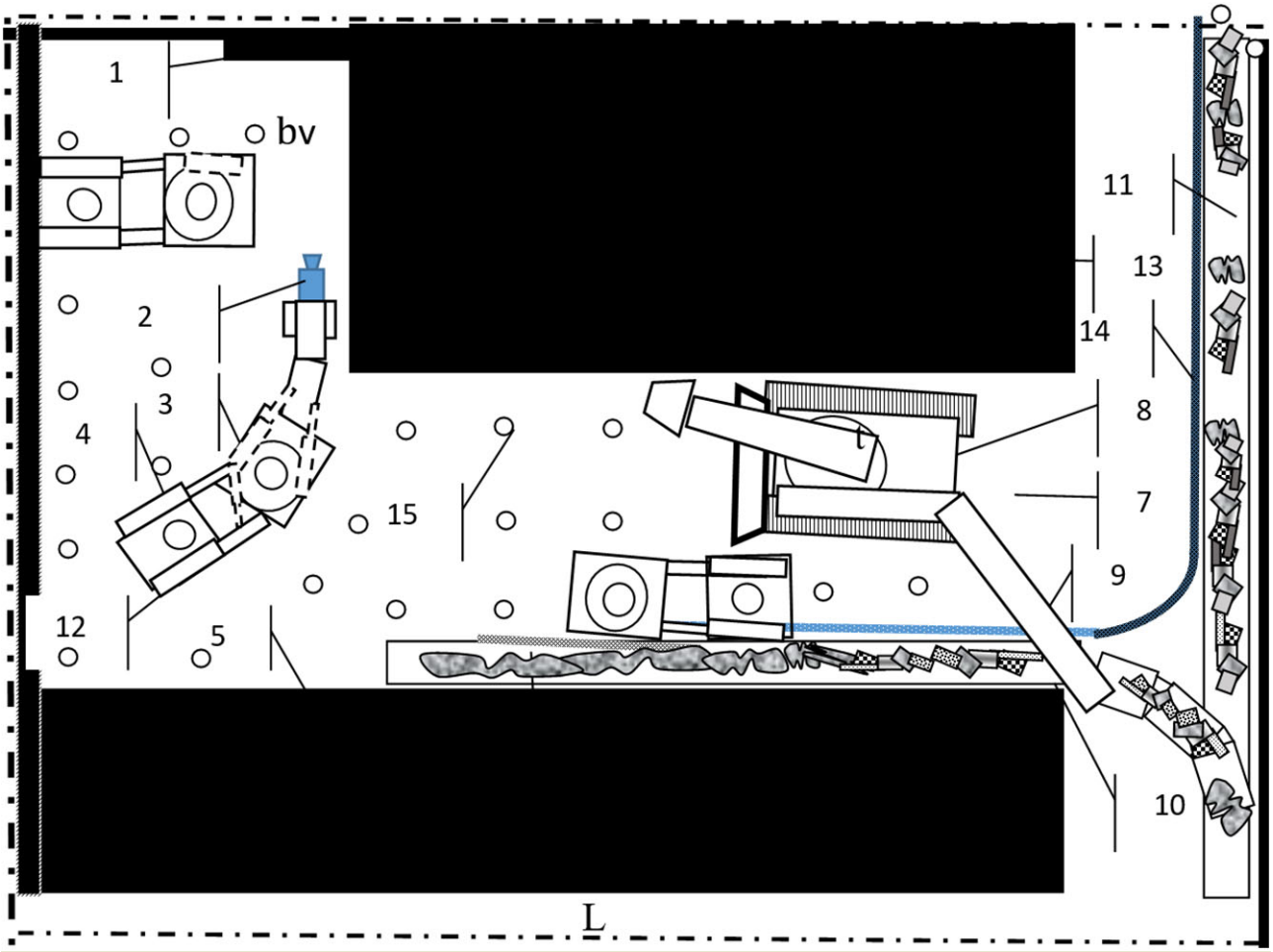
работы. А надежность и эффективность разворота многократно возрастает, создавая условия для его выполнения в автоматизированном варианте. Обеспечение работоспособности таких технологий связано с наличием поворотного конвейера. Разработки таких конструкций проводились с 1980-х годов в КузГТУ, КарТУ и в ИПКОН (лаборатория безлюдной выемки). Так, для конвейеров скребкового типа и секций агрегатов получены патенты EA040616B1, 2022-07-06; EA024900B1, 2014-02-07; EA031964B1 2017-02-03; EA202091969A1, 2022-02-28; EA034478B1, 2020-02-12, А.С. № 1502844, от 23.08.89, А.С. №1135906 от 23.01.1985.

Улучшение же вентиляции может достигаться выполнением одного или комплекса вариантов, в которые входят:

- предварительное бурение скважин диаметром до 0,2 м через зоны будущей камеры, при подготовке выемочного поля, которые используются как разведочные для расчетов горного давления, дегазации участка и откачивания отработанной струи;

- сокращение длины заходки до 30-40 м, что позволяет вентилировать забой и без специальных мер, представленных выше.

Камерная система с её специфической архитектурой выработок и организаций работ позволила довести до совершенства в США систему дегазационных работ. Разворот забоя выполняется по базовым схемам, одна из которых на рисунке 1 и включает комбайн на гусеничном ходу с погрузчиком на корпусе и самоходным роботом-манипулятором для установки стационарно-переносной или анкерной крепи, с возможностью, при необходимости, крепления кровли собственным перекрытием и разрушения с применением гидропневматического молота



1 – заходка с боковым уступом; 2, 3, 4, 12 – каретка с молотом, полусекциями и домкратами передвижения робота; 5 – пласт; 6 – транспортируемая СПК; 7 – установленная СПК; 8 – комбайн; 9, 10, 11 – перегружатель, поворотный и штрековый конвейеры; 13 – боковой уступ; 14 – основной штрек и гидроарматура; 15 – анкеры

Рисунок 1 – Схема использования роботов для отбойки твердых пород, крепления зон повышенного давления пород

крепких включений пород в забое или для зачистки почвы при пучении.

В отличие от длинной лавы [2, 3], оснащенной 150 секциями крепи – по существу горными роботами, рассматриваемая система малокомплектна, включает группу самоходных манипуляторов. Разработка приемов позиционирования роботов и моделирование их работы проводится в пакете динамического программирования Адамс. В модели Adams трение о почву не учитывается, но использование трения в шарнирах компенсирует этот недостаток. Использование элементов Adams требует обоснования и практической проверки. Для этого разработаны средства расчета лемнискатных механизмов – четырехзвенника [4] манипуляторов [5], которые при преобразовании к рассматриваемому случаю можно использовать для тестирования и выполнить в виде информационной системы. Для Adams движение шарнирно связанных механизмов по плоскости можно произвести по нескольким схемам [6, 7]:

1. Применением комбинаций поворотных и поворотно поступательных шарниров с плоскостными шарнирами (Revolute joint, Translational joint, Primitives);
2. Применением комбинаций поворотных и поворотно поступательных шарниров плоского типа (Revolute joint, Translational joint);
3. Применением комбинаций поворотных и поворотно поступательных шарниров с движениями в 3D и с плоскостными шарнирами типа Planar (Spherical joint, Cylindrical joint, Planar joint).

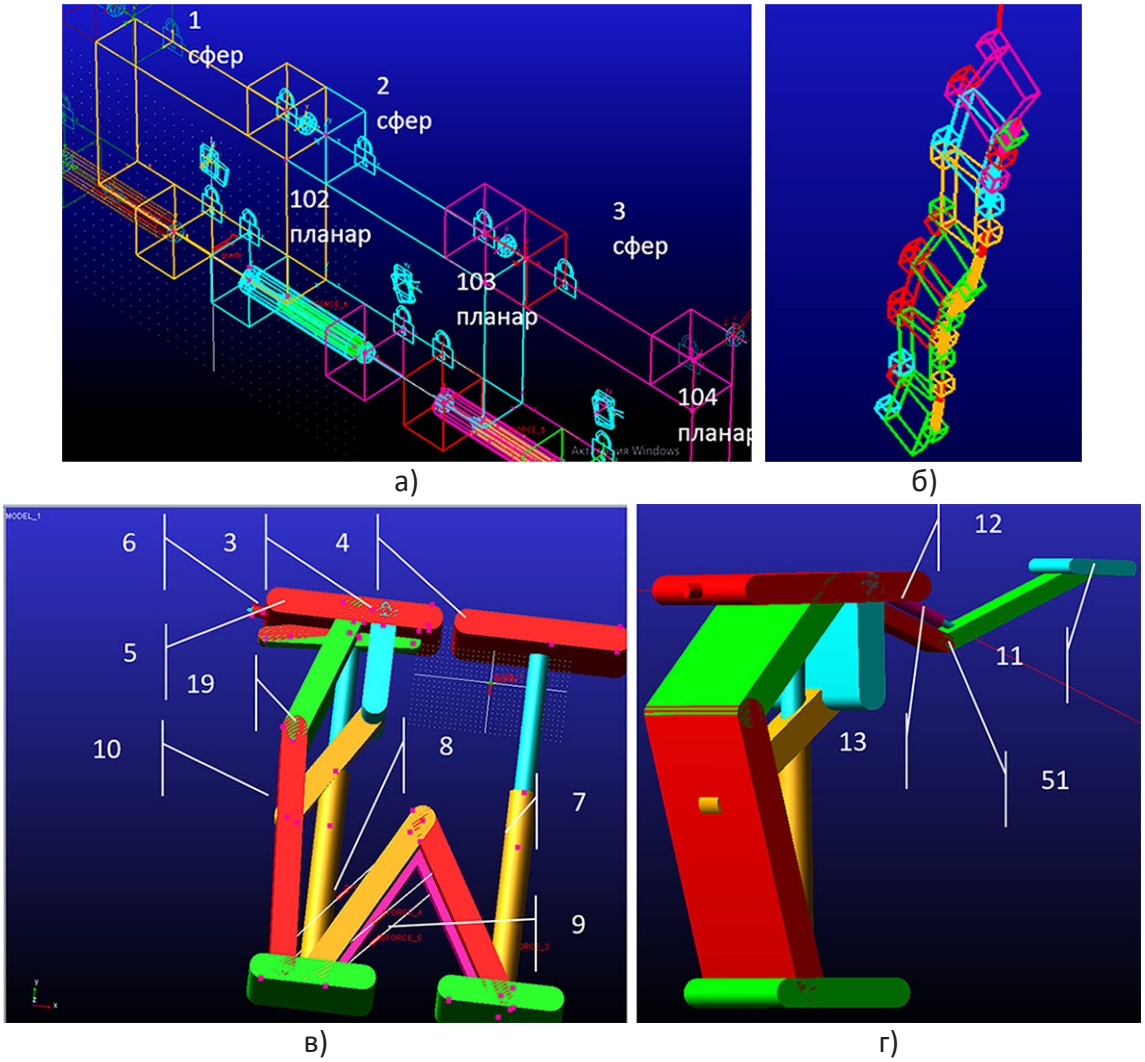
Результаты и обсуждение

В испытанных моделях поворотного конвейера и самоходного манипулятора (рисунок 2) в основном применялись элементы Linc. Для связи с почвой плоскостные шарниры связывались через промежуточное звено с поворотным шарниром, в свою очередь связанное с рештаком (или опорными элементами в роботах). Для поворотного конвейера картины движения для представленных выше схем качественно и количественно практически не отличаются (тяговое усилие и натяжение $8.6*10^4$ и $1.6*10^4$ Н).

Имитация движения в камеру возможна и без плоскостных шарниров за счет двумерных шарниров при отсутствии зазоров между отверстием и валом, без учета контакта конвейера с грунтом.

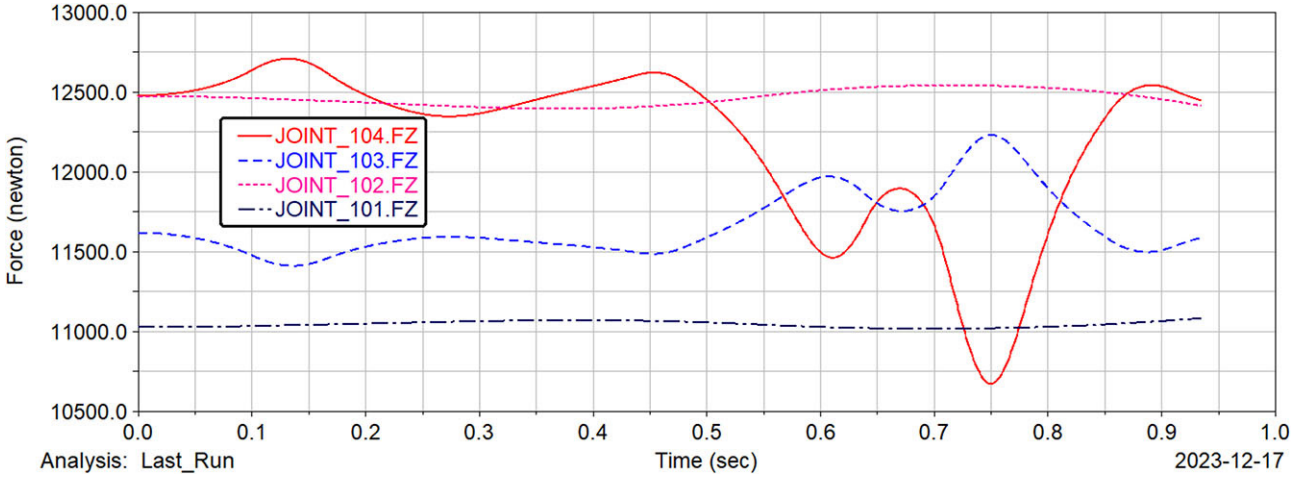
Скачки реакций в шарнирах происходят при неучете трения в шарнирах (рисунок 3), колебания траверсы, связывающей первый рештак с объектом, осуществляющим тягу. Применены плоскостные шарниры Planar с реакцией о почву, а между рештаками поворотные или сферические шарниры. Отсутствие трения и здесь вызывает неравномерность движения. Реакции же увеличиваются пропорционально тяговому усилию. Таким образом, в упрощенных случаях можно ограничиться моделированием по 2 типу. Максимально нагружен шарнир первого рештака. Реакции в поворотных шарнирах неравномерны – происходят рывки, в которых максимальные нагрузки достигают 13000 Н. Это особенно проявляется при отсутствии трения в шарнирах и колебаниях рештаков. Опорные реакции, для типа 1, рештаков о почву более равномерны. Для сферических шарниров наблюдается скачок рештаков в середине става, рисунок 2б, т.е. увеличение подвижности звеньев за счет шаровых шарниров ведет к росту динамики конструкции. Проведенное моделирование позволяет учесть отклонения и откорректировать аналитическую модель движения конвейера для расчета технологических схем маневрирования камерным забоем [2, 8, 9]. А зная, что современные схемы расчета НДС [1-3, 10] учитывают основные факторы разработки, можно утверждать, что прогнозирование достаточно точно. На рисунке 3 в реакции в поворотных шарнирах самоходного манипулятора при нагрузках в домкратах управления слева и справа 40 и 20 тс. При этом схема выбрана так, что контакт с кровлей не теряется, а козырек лапы движется вверх. Нагрузка в шарнире 51 возрастает и даже превосходит осевое усилие гидродомкрата справа. Как показывает анализ, движение лапы сложно и алгоритмы его оптимизации требуют изменения усилий домкратов либо периодического закрытия гидравлических полостей домкратов. Контрольная методика основана на положениях экспериментального метода Артоболевского к его применениию в электронных таблицах с сочетанием программирования на VBA. Она выполнена как информационная система при различном конструктивном положении домкратов. Схема преобразуется и для конструкции в [5], поддерживает и расчет четырехзвенников [4]. Полнота возможных положений коромысла достигается расчетом в циклах при переменном α для каждого фиксированного значения. Окно информационной системы содержит использованные в расчетах выражения тригонометрии. Дискретность положений манипулятора может задаваться практически с любой точностью (в данном положении использовано изменение угла левого рычага коромысла) через 2°. Таким образом, в схеме камерной выемки или проходки предполагается работа двух автономных машин – комбайна и самоходного манипулятора – робота с базированием на апроби-

рованных схемах секций шагающей крепи. В качестве же привода можно использовать насосные станции на штреке (этому способствует короткая длина заходки) или двигатели от аккумулятора на секции. Шагающая крепь состоит из полусекций, соединенных между собой по краям домкратами передвижения. После анкеровки кровли она может быть использована и для других целей, и в частности, для крепления ослабленных зон за счет перекрытий и гидростоек полусекций, т.е. как обычная механизированная крепь, а также для разрушения твердых фракций груди забоя гидропневматическим молотом, который она может захватить кареткой, рисунок 1. На этот момент комбайн выводится из забоя в штрек, а манипулятор, подхватив молот ходит в камеру, разрушает полосу шириной bv, после чего погрузку материала осуществляет комбайн. Робот-манипулятор способен перемещаться в забое, заходке и на основном штреке. Во втором случае полусекции снабжены устройствами, конструктивно близкими к погружному контуру, прошедшему производственные испытания в Кузбассе, что позволяет роботу двигаться, не используя распор между кровлей и почвой. Позиционирование может производиться по 2 схемам: за счет двух систем шагания, расположенным по бокам оснований и центрально расположенной системы с возможностью ее поворота относительно оснований.

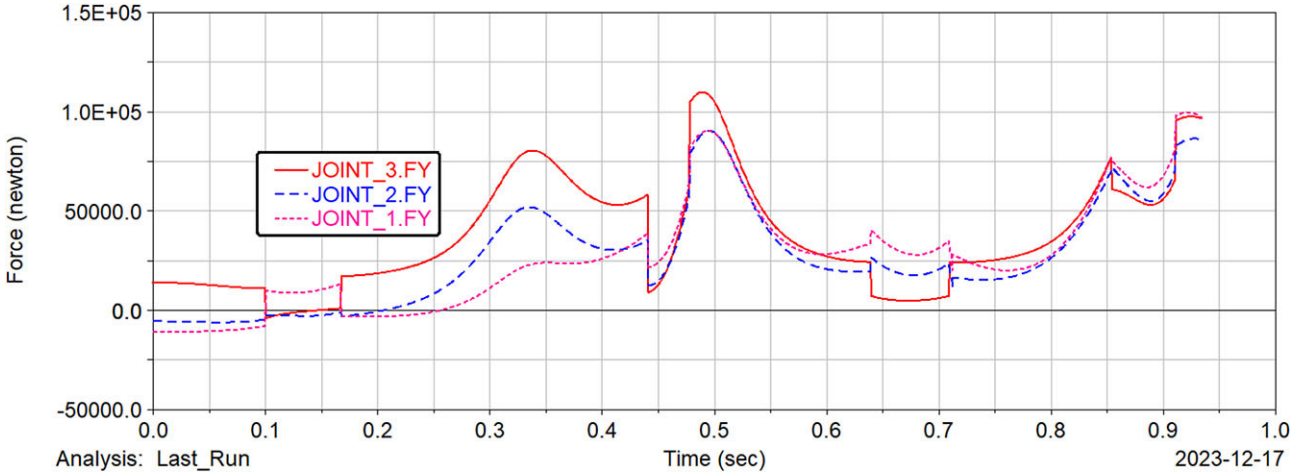


а) имитация движения: номера шарниров и их типы для движения по плоскости; б) объемные шарниры и волнообразность при увеличении свободы движения, особенно при отсутствии трения; в) робот: 3, 4 – полусекции, 5, 6 – лапа с четырехзвенником, 7, 8, 9 – гидростойка и направления сил, 10 – обратный четырехзвенник, 11, 12 – козырек с рычагами лапы, 13 – домкрат лапы, 19 и 51 – номера поворотных шарниров

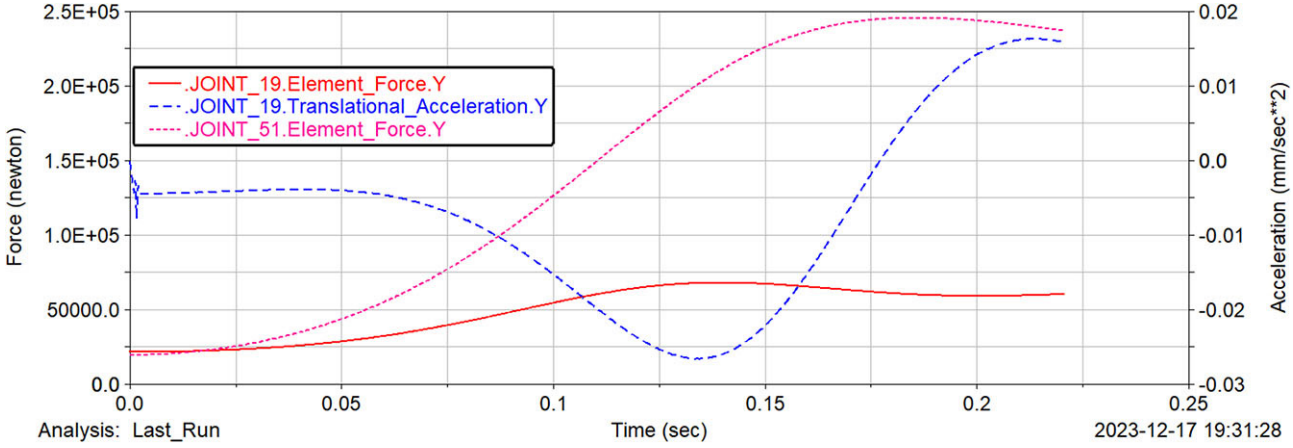
Рисунок 2 – Движение робототехники в MS Adams



а)



б)



в)

а), б) Отпор от почвы для плоскостных, и по оси У сферических шарниров, в) опорные реакции самоходного манипулятора: изменение вертикальных реакций в поворотных шарнирах четырехзвенника 19, его ускорения и реакции в лапе шарнира 51; б) и в) кинематика и вид в 3D

Рисунок 3 – Скачки нагрузки при опоре о почву, между рештаками и в самоходном манипуляторе

Заключение

Представлена методика расчета и контроля движения малокомпонентных роботов, с перемещением става конвейера по почве пласта с использованием объемных шарниров и шарниров типа Planar на основе Adams с контролем в информационной системе электронной таблицы. Разработа-

ны особенности конструкции движения маневрирующего самоходного манипулятора, которые позволяют уточнить методику его расчета при позиционировании и на прочность. Технологические схемы применения поворотного конвейера позволяют использовать в забое два типа машин: проходческо-очистной комбайн и робот-манипулятор для монтажа и демонтажа стационарно-переносной крепи и других текущих работ, а также разрушения забоя при наличии прочных пород в очистном забое и заходке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жетесова Г.С., Бейсембаев К.М., Малыбаев Н.С., Юрченко В.В., Шманов М.Н. Разработка базовой технологии выемки ископаемого с поворотом конвейера на 90° // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. № 8. – С. 37-49.
2. Ройтер М., Крах М., Кислинг У., Векслер Ю. Эффективность работы механизированных очистных забоев с системой управления Марко «Цифровая шахта» // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2014. Т. 2. № 1. С. 176-181.
3. Ройтер М., Крах М., Кислинг У., Векслер Ю., Лукин К. Сейсмоакустический контроль в системе управления фирмы Marco «Цифровая шахта». Геодинамика и напряженное состояние недр Земли // Труды XX Всерос. Науч. Конф. Новосибирск, 2013. С. 43-47.
4. Бейсембаев К.М., Жетесов С.С., Абдугалиева Г.Б., Демищук И.Н.К расчёту сложно-нагруженных конструкций // Горный информационно-аналитический бюллетень. Москва: Изд-во МГГУ, 2010. № 6. С. 38-39.
5. Бейсембаев К.М., Решетникова О.С., Телиман И.В., Артемова А.А. Особенности проектирования манипуляторов горных машин // Известия вузов. Горный журнал. 2017. № 7. С. 87-93.
6. Dragos A., Gheorghe S. The determination of the velocities and of the accelerations of action belonging to the parallel robots with delta 3 d of structure using the software msc. Adams package // Journals, Reviews and Scientific Publications from University of Bacau. – 2013. – V. 3. – No. 1. – Pp. 17-20.
7. Talli A.L., Kottursheltar B.B. Forward Kinematic Analysis, Simulation & Workspace Tracing of Anthropomorphic Robot Manipulator by Using MSC // ADAMS. – 2015. – V. 4. – No. 1. – Pp. 18462-18468.
8. Dragos A., Gheorghe S. The determination of the velocities and of the accelerations of action belonging to the parallel robots with delta 3 d of structure using the software msc. Adams package // Journals, Reviews and Scientific Publications from University of Bacau. – 2013. – V. 3. – No. 1. – Pp. 17-20.
9. Ilango Mahalingam, Chandramouli Padmanabhan. Planar multi-body dynamics of a tracked Vehicle using Imaginary Wheel model for tracks // Defence Science Journal. – 2017. – V. 67. – No. 4, July. – Pp. 460-464.
10. Говорухин Ю.М., Риб С.В. Моделирование численными методами процессов обрушения пород кровли // Горный журнал. – 2019. – № 4. С. 23-26.

Камералық қазу кезінде аз компонентті робототехника модельдері

[1]***БУЯЛИЧ Геннадий Даниилович,*** *т.ғ.д., профессор, gdb@kuzstu.ru,*
[2]***ЖЕТЕСОВА Гульнара Сантаевна,*** *т.ғ.д., профессор, zhetesova@mail.ru,*
[2]****БЕЙСЕМБАЕВ Каким Манапович,*** *т.ғ.д., профессор, kakim08@mail.ru,*
[2]***АБДУГАЛИЕВА Гульнур Баймурзаевна,*** *т.ғ.к., доцент, gulnura84@mail.ru,*
[2]***РЕШЕТНИКОВА Ольга Стасисовна,*** *PhD, аға оқытушы, olga.reshetnikova.80@mail.ru,*
[1]*Т.Ф. Горбачев атындағы Кузбасс мемлекеттік техникалық университеті, Весенняя көшесі, 28, Кемерово, Ресей,*
[2]*«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,*
**автор-корреспондент.*

Андатпа. *Қатты минералдарды камералық игеру кезінде кенжар жабдықтарының саны күрт азаяды және оның орнына робототехниканы қолдануға болады (комбайн, бұрылыс қырғыштық конвейер және өздігінен жүретін манипуляторлар). Күрделі механизмдерді орналастыру бойынша, жазықтықта және көлемде (Revolute joint, Translational joint, Primitives, Planar) қозғалысы бар топсалар негізінде Adams динамикалық бағдарламалау пакетінің көмегімен жүргізіледі. Осы механизмдердің конструктивті схемалары, қозғалыс траекториясының ерекшеліктері, топсалардағы реакциялардың таралуы, олардың үдеуі белгіленді; Көп денелі модельдердің нәтижелерін бақылау үшін тестілеу ақпараттық жүйесі құрылды. Ол электронды кестеде механизмдердің дискретті қозғалыс циклдарын қолдана отырып, Артоболевскийдің эксперименттік аналитикалық әдісі негізінде жүзеге асырылады. Бұл робототехниканың негізгі конструкцияларын және оларды шағын компонентті камералық ойыққа қолдану технологиясын жасауға мүмкіндік береді. Бұл робототехниканың негізгі технологиялық конструкцияларын және оларды аз компонентті камералық ойыққа қолдану схемаларын жасауға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелерді бөлшектердің өндірісі мен беріктігін, олардың қарқынды тозу аймақтарын талдау үшін пайдалануға болады.*

Кілт сөздер: *жазықтық буындары, робот-манипулятор, жартылай секция, құбыр, бағдарлама, камера.*

Models of Low-component Robotics for Chamber Excavation

[1]***BUYALICH Gennady,*** *Dr. of Tech. Sci., Professor, gdb@kuzstu.ru,*
[2]***ZHETESOVA Gulnara,*** *Dr. of Tech. Sci., Professor, zhetesova@mail.ru,*
[2]****BEISEMBAYEV Kakim,*** *Dr. of Tech. Sci., Professor, kakim08@mail.ru,*
[2]***ABDUGALIEVA Gulnur,*** *Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, gulnura84@mail.ru,*
[2]***RESHETNIKOVA Olga,*** *PhD, Senior Lecturer, olga.reshetnikova.80@mail.ru,*
[1]*T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Vesennyaya Street, 28, Kemerovo, Russia,*
[2]*NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», N. Nazarbayev Avenue, 56, Karaganda, Kazakhstan,*

**corresponding author.*

Abstract. *In the case of chamber mining of solid minerals, the number of downhole equipment is sharply reduced, and robotics (a combine harvester, a turning scraper conveyor, and self-propelled manipulators) can be used instead. Positioning of complex mechanisms is performed using the Adams dynamic programming package based on hinges with movement along lines, in plane and in volume (Revolute joint, Translational joint, Primitives, Planar). The design schemes of these mechanisms, the features of the trajectory of movement, the distribution of reactions in the hinges, and their acceleration were established; Studies have been conducted to substantiate them and clarify the scope of application. A testing information system has been created to monitor the results of multibody models. It is implemented on the basis of the experimentally analytical Artobolevsky method, using discrete cycles of movement of mechanisms in a spreadsheet. This makes it possible to develop basic robotics designs and technologies for their application to a small-component chamber excavation. This makes it possible to develop basic technological designs of robotics and schemes for their application to a small-component chamber excavation. The results obtained can be used to analyze the manufacture and strength of parts, areas of their intense wear.*

Keywords: *planar hinges, robot manipulator, half-section, conveyor, program, chamber.*

REFERENCES

1. Zhetesova G.S., Beisembayev K.M., Malybayev N.S., Yurchenko V.V., Shmanov M.N. Development of basic technology to get out of the conveyor at 90° // Izvestia Tomsk Polytechnic University. Engineering georesursov. – 2018. – Vol. 329. No. 8. – Pp. 37-49.
2. Reuter M., Krah M., Kisling U., Wexler Yu. Efficiency of mechanized physical labor with the system of management of Marco «Digital mine» // Fundamental and applied issues of Mountain Science. 2014. Vol. 2. No. 1. Pp. 176-181.
3. Reuter M., Krah M., Kisling U., Wexler Yu., Lukin K. Seismoacoustic control in the system management firm Marco «Digital mine». GEODynamics and sustainable development of the Earth // Earth XX Vseros. Nauch. Conf. Novosibirsk, 2013. Pp. 43-47.
4. Beisembayev K.M., Zhetesov S.S., Abdugalieva G.B., Demishchuk I.N. To publish highly awarded structures // Gorny information and analytical bulletin. Moscow: Publ. MGGU, 2010. No. 6. Pp. 38-39.
5. Beisembayev K.M., Reshetnikova O.S., Teliman I.V., Artemova A.A. Personality of the projection of manipulators of mountain machines // Izvestia vuzov. Mountain magazine. 2017. No. 7. Pp. 87-93.
6. Dragos A., Gheorghe S. The determination of the velocities and of the accelerations of action belonging to the parallel robots with delta 3 d of structure using the software msc. Adams package // Journals, Reviews and Scientific Publications from University of Bacau. – 2013. – V. 3. – No. 1. – Pp. 17-20.
7. Talli A.L., Kotturshettar B.B. Forward Kinematic Analysis, Simulation & Workspace Tracing of Anthropomorphic Robot Manipulator by Using MSC // ADAMS. – 2015. – V. 4. – No. 1. – Pp. 18462-18468.
8. Dragos A., Gheorghe S. The determination of the velocities and of the accelerations of action belonging to the parallel robots with delta 3 d of structure using the software msc. Adams package // Journals, Reviews and Scientific Publications from University of Bacau. – 2013. – V. 3. – No. 1. – Pp. 17-20.
9. Ilango Mahalingam, Chandramouli Padmanabhan. Planar multi-body dynamics of a tracked Vehicle using Imaginary Wheel model for tracks // Defence Science Journal. – 2017. – V. 67. – No. 4, July. – Pp. 460-464.
10. Govorukhin Yu.M., Rib S.V. Modeling of detailed methods of process coverage of the krovli River // Gorny magazine. – 2019. – No. 4. Pp. 23-26.