

МАШИНАЖАСАУ
МАШИНОСТРОЕНИЕ
ENGINEERINGDOI 10.51885/1561-4212_2022_3_61
MPHTI 55.33.02**Д.К. Асмагамбет¹, Г.С. Жетесова², К.М. Бейсембаев³, К.К. Мендикенов⁴**Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова, г. Караганда,
Казахстан¹E-mail: kenzhebaeva_d@mail.ru²E-mail: zhetesova@mail.ru³E-mail: kakim08@mail.ru*⁴E-mail: mendikenov.k@mail.ru**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ СИСТЕМ ПОВОРОТА КОНВЕЙЕРА
В ПЛОСКОСТИ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ****ТАСЫМАЛДАУ ЖАЗЫҚТЫҒЫНДАҒЫ КОНВЕЙЕРДІҢ БҰРЫЛУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ
ЖҰМЫС ЕРЕКШЕЛІКТЕРІН ЗЕРТТЕУ****STUDY OF THE PECULIARITIES OF THE OPERATION OF CONVEYOR ROTATION
SYSTEMS IN THE PLANE OF TRANSPORTATION**

Аннотация. В современных конвейерах поворот решетоков осуществлялся в плоскости нормальной к поверхности транспортирования. Предлагаемая конструкция обеспечивает поворот и в плоскости поверхности (работа осуществляется в режиме 3D). Это необходимо при вводе конвейера в камеру вслед за проходческим комбайном и для транспортирования по криволинейным выработкам. Производится моделирование ввода поворотного конвейера в камеру на основе дискретизации уравнений динамики в программном пакете Adams, код которого близок к языкам типа «С». Учитывается, что движения комбайна неравномерны. Выполняются: исследование на макетах с электро- и гидроприводом, системный анализ полученных результатов. Адекватность модели подтверждается совпадением результатов стендового и компьютерного моделирования. Применение поворотных конвейеров предполагается при камерной выемке сложноразветвляющихся участков месторождений твердых минералов. Технология почти в 3 раза сократит капитальные вложения на разработку по сравнению с традиционной добычей минералов лавами.

Ключевые слова: конвейер; поворотный; поворотно-поступательный шарнир; Adams; стенд; полноразмерный макет; нагрузка.

Аңдатпа. Заманауи конвейерлерде решетактардың бұрылуы тасымалдау бетіне қалыпты жазықтықта жүзеге асырылды. Ұсынылған конструкция тасымалдау бетінің жазықтығында бұрылуы қамтамасыз етеді (3D режимінде жүзеге асырылады). Бұл комбайнның артындағы конвейерді камераға кіргізгенде және қисық туннельдер арқылы тасымалдау үшін қажет. Модельдеу үшін Адамс бағдарламалық пакетіндегі динамикалық теңдеулерді дискретизациялау әдістері қолданылады, оның коды «С» типті тілдерге жақын. Комбайн қозғалысының біркелкі еместігі ескеріледі. Электр және гидравликалық жетектері бар кішірейтілген және толық өлшемді макеттерде стендтік зерттеулер орындалды. Модельдің сәйкестігі стендтік және компьютерлік модельдеу нәтижелерінің сәйкес келуімен расталады. Айналмалы конвейерлерді пайдалану қатты минералдар кен орындарының күрделі жатқан учаскелерін камералық қазу кезінде болжанады. Технология дәстүрлі минералды лаваларды өндірумен салыстырғанда игеруге

күрделі салымдарды шамамен 3 есе азайтады.

Түйін сөздер: конвейер; бұрылыс; бұрылу-трансляциялық топса; Adams; стенд; толық өлшемді макет; жүк

Abstract. In modern conveyors, the rotation of the reshtaks was carried out in a plane normal to the surface of transportation. The proposed design provides rotation in the plane of the surface (the work is carried out in 3d). This is necessary when entering the conveyor behind the combine into the chamber and for transportation through curved tunnels. For modeling, methods of discretization of dynamic equations in the Adams software package are used due to visual programming, the code of which is close to languages of the "C" type. It is taken into account that the movements of the combine are uneven. This is due to the mode of processing the slaughter with unevenly strong soil areas. Performed: bench studies on reduced and full-size mock-ups, with electric and hydraulic drives. A systematic analysis of the obtained results and films is carried out. The adequacy of the model is confirmed by the coincidence of the results of bench and computer simulation. The use of turning conveyors is expected for chamber excavation of complex areas of solid mineral deposits. The technology will reduce the capital costs of mining minerals by 3 times compared to traditional lava-based mining.

Key words: conveyor; swive; swivel and translational hinge; Adams; stand; full size mockup; load.

Введение. В зоне поворота става конвейера возникает сила реакции скребка, прижимаемого угловым смещением цепи к борту рештаков. Она зависит от угла поворота, тягового усилия, коэффициента трения между торцом скребка и бортом. В результате для одноцепного конвейера возникает опасность наклона и опрокидывания скребков. Кроме того, разработка современных машин уже на стадии проектирования должна учитывать возможности создания систем управления и контроля работы, что выполняется в базе данных. Для решения указанных вопросов и создания поворотного конвейера проводится имитационное моделирование процесса протягивания конвейера, работы его цепного скребкового тягового органа с системой гидравлического натяжения.

Литературный обзор. В конструкции польского перегрузчика типа Баракуда это решается за счет направляющей, установленной в центре рештака. П-образную конструкцию в центральной части должен иметь и скребок, так чтобы беспрепятственно скользить по этой направляющей. Аналогична и конструкция холостой ветви. Это привело к увеличению высоты става конвейера. Необходимо также обеспечить смещение звездочек вдоль вала. В результате конструкция конвейера резко усложняется. Альтернативное же решение с горизонтально замкнутой конструкцией с консольными скребками, приводит к неодинаковым условиям взаимодействия их торцов с бортами рабочей или холостой ветви и повышает вероятность неустойчивой работы. Применение поворотного конвейера возможно на участках открыто-подземных работ, заводах и обогатительных фабриках при камерной выемке для калийных солей. Проводились промышленные испытания с участием КарПТИ и Гипроуглегормаш с решением вопросов улучшения проходческо-добычной техники [1]. Для открыто-подземной выемки на основе этажно-камерной системы разрабатываются схемы добычи полиметаллических руд месторождения Алайгыр в Казахстане [2]. Ввод конвейера в камеру при механизированной добыче возможен за счет привязки к проходческому комбайну или секциям крепи, при требуемом усилии подачи до 7 тс. и длине до 32 м [3-4]. В этих же работах рассмотрены теоретические основы расчета таких систем. Расчеты таких систем проводились для конструкций, зазоры которых у центрально расположенного поворотного шарнира перекрываются внутренними пластинами. Исследования в этих направлениях ранее выполнялись в основном в направлении решения частных задач, например, совершенствования возможности изгиба резиновой ленты конвейера.

Материалы и методы исследования. Для сложной машины, состоящей из деталей,

связанных между собой различными шарнирами, ограничивающими траектории движения, скорости и ускорения, использование имитационных динамических моделей позволяет получить совершенные конструктивные схемы, а также выполнить их параметрический синтез [6-7], в том числе и для условий лав. В отличие от [8-9], формульные представления в данном случае сложны, могут представлять лишь фрагменты решений и приводить к трудноопределимым ошибкам, поэтому для задач динамики особенно эффективно приложение Adams [10]. Для обоснования возможности использования элементов пакета выполнены исследования ряда имитационных моделей, что позволило установить рациональный набор элементов и их кинематических связей. Учтены движения комбайна при выемке полезного ископаемого с короткими участками ускорения (ранее рассматривалось равномерное движение). Определены особенности решения для перемещения става конвейера и его тягового органа с начальной скоростью (нулевой и некоторой текущей). Скорости ускорения, опорные реакции в узлах машины определяются одновременно. На выбор элементов пакета, вводимых в расчетную схему, влияют и особенности движения рештаков, совершающих в один момент радиальный поворот и линейное движение при протягивании става комбайном. Определяется и траектория положения конвейера относительно сечения камеры.

В этом случае модели рештаков их основная конфигурация, геометрические размеры, массы и моменты инерции выполняются исходя из объемных примитивов Plane и Link связей поворотных, поворотно-поступательных и плоскостных шарниров. Для каждого интерактивно вводимого конструктивного элемента конвейера программой формируются данные, которые достаточны для решения задачи. Для допускаемой точности решения соблюдение геометрии деталей не требуется и достаточно данных по массе и моментам инерции. С учетом динамики движения комбайна [4] и неравномерности движения звездочки моделирование его движения на коротких участках возможно приложением тягового усилия по оси движения комбайна вблизи линии почвы. Анализировались работы и данные [4], что необходимо для проектирования приводов, в том числе с учетом работы насосной станции и возможностей в дальнейшем использования конвейеров ленточного типа. Примитивы Adams дают возможность детализировать расчетную схему, хотя для решения поставленных задач достаточно ввести массовые и инерциальные характеристики основных узлов, которые известны по техническим характеристикам и данным проектирования полноразмерных макетов. В Adams можно задать требуемый, прямолинейный режим движения комбайна на забой под действием силы, постоянно ориентированной перпендикулярно забою (свойство силы в Adams Space Fixed), а через связь корпуса комбайна с натяжным рештаком протягивать конвейер за движущимся комбайном (свойство силы «между двумя телами» TwoBodies), когда рештаки свободно разворачивались в поворотных шарнирах под углом α . Суммарный угол поворота $\alpha = 90^\circ$ достигался движением комбайна на забой и углом взаимного пересечения штрека и камеры [3-4]. При этом инерциальные характеристики учитывают массы и ускорения объектов, а значения реакций являются неизвестными величинами. В то же время технология Adams системы уравнений учитывает самостоятельно, исходя из вводимой геометрической схемы, типов, установленных поворотных и поворотно-поступательных шарниров их принятых свойств, вводимых геометрических, массовых и инерциальных характеристик, ограничений по углам поворота. Поэтому уравнения в основном используются для качественного контроля результатов, выдаваемых программой.

Результаты и их обсуждение. В состав конвейера обычно входит приводной рештак с мотор-редуктором, натяжной рештак с гидравлическими цилиндрами и выдвигной

платформой, поворотные рештаки (рис. 1). Скребки могут оснащаться опорными роликами. Со стороны ближнего к центру поворота борта не перекрываемый зазор между рештаками, как показывают расчеты, должен быть не более 8 мм. Зазор с противоположной стороны около 200 мм. Он закрыт подвижной пластинкой с внешней стороны таким образом, чтобы между его поверхностью и скребком зазор Δ составлял не менее 80 мм, что необходимо для создания подушки из штыба, предотвращающей расклинку кусков угля и породы, между бортом и торцом скребка. Возможность поворота в обе стороны позволяет в 2 раза уменьшить объемы проходки выработок. Поворотная система распределена по бокам рештаков и состоит из поворотного (ППШ) и поворотно-поступательного шарниров (ППШ). ППШ может выполняться и в виде гидравлических цилиндров. Траектория движения при известных размерах конвейера однозначно определена, что позволяет рассчитывать радиусы поворота и параметры выработок. Поворотный конвейер изначально расположен в транспортной выработке параллельно её конвейеру [5-6] и движется вдоль него по направляющим. В зоне камеры движение определяется работой шарниров. Для проектирования трассы поворота исходят из параметров выработки и камеры, геометрических размеров конвейеров. Конвейер входит в агрегат камерной выемки с комбайном стреловидного типа, установленным на погрузчик, и может перемещаться по нему, а поворотный конвейер прицеплен к задней части секций тягой, рис. 2 (евразийский патент авторов № 040616). Как установлено, имитация движения поворотного конвейера достаточно точно описывает реальное движение системы при входе в камеру. К силовым факторам поворота относятся распределения реакций отпора в поворотных шарнирах пар рештаков (рис. 3). Номера поворотных шарниров представлены в табл. 1. Рассмотрено движение комбайна до точки, когда последний (приводной) рештак, двигаясь параллельно конвейеру выработки, подошел к предельному положению, а передние рештаки уже повернуты в камеру за счет протяжки комбайна. Фактически при уменьшении тяги F_t реакции уменьшаются, хотя обычно на крайних рештаках, где имелся аномально большой поворот (когда методически не удавалось ограничить его до установленных величин), они имеют повышенные значения (позиции, отмеченные звездочками). В табл. 1 приведены распределения максимальных реакций в поворотных шарнирах.

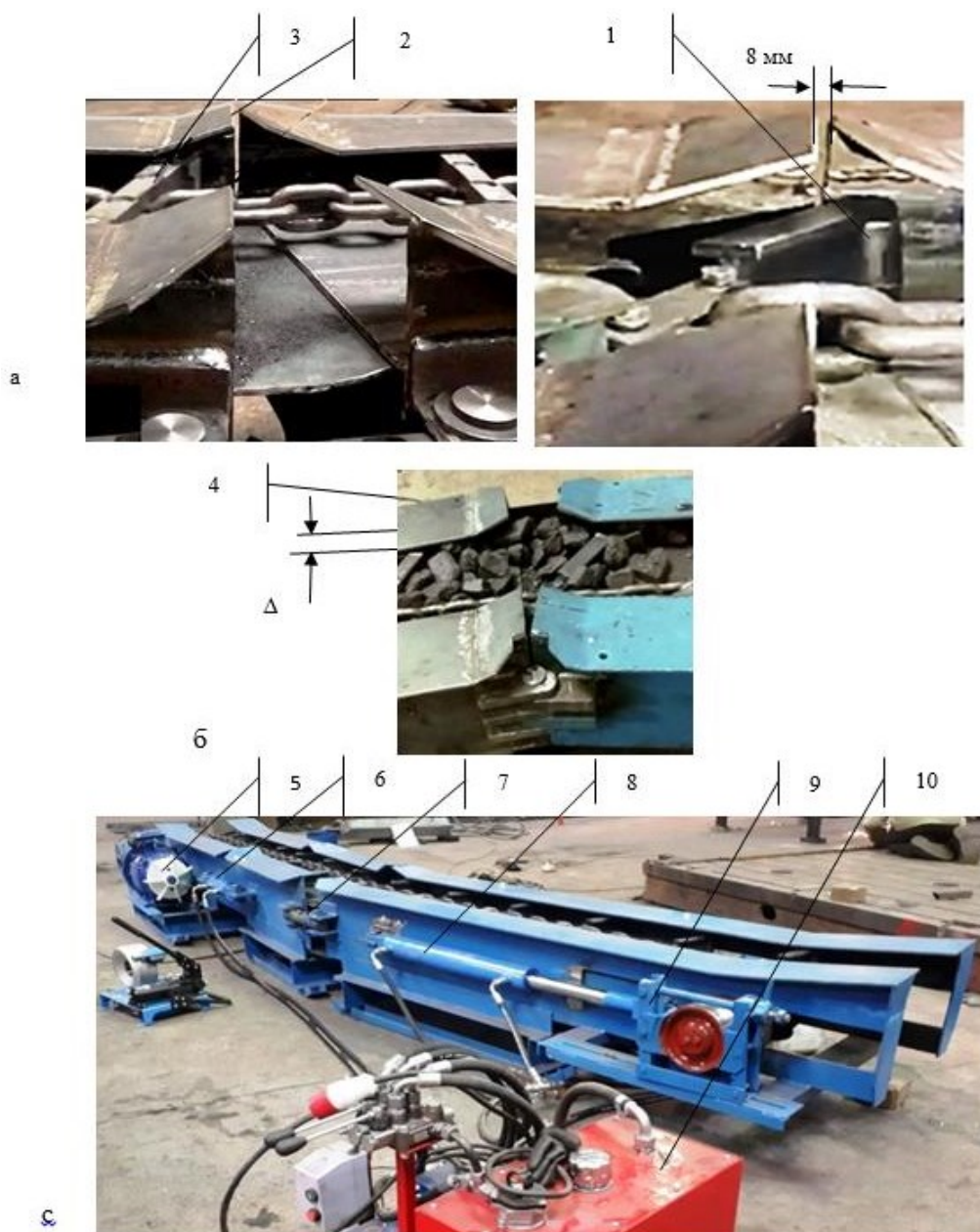


Рисунок 1. Качение роликов и полноразмерный макет приводного, натяжного и поворотного рештаков: а) 1 – ролик со скребком до зазора, 2 – зазор, 3 – скребок с роликом после зазора; б) 4 – упругая пластина большого зазора; Δ – буфер; в) 5 – мотор-редуктор, 6 – поворотный домкрат, 7 – цилиндрическая серьга с пазом поворотно-поступательного шарнира; 8 – гидроцилиндр натяжного рештака; 9 – имитатор нагрузки; 10 – насосная станция

В данном случае при прохождении комбайном некоторого участка, конвейер и каждый шарнир в зоне поворота в среднем проходит путь, который имеет линейную проекцию на ось У до 1,5 м и поворот на 15° , т.е. 10 град/м. Для каждого из шарниров с номерами 1...3, 52, 53 в пакете Adams строятся графики проекций сил реакций на ось У и Х для условий:

гравитация по обеим или одной из осей Y , X (направление гравитации по второй оси для имитации силы трения рештаков о почву); сила тяги при наличии сил между элементами поворотного-поступательного шарнира типа «шток – цилиндр» $F_{Гц}$ и без них. F_T для длины конвейера 32 м близка к 65 000 Н, а максимальная принималась примерно в 4 раза большей – 260 000 Н. Максимальные значения выбраны из графиков, и они приходятся на разные моменты подвигания конвейера. На крайнем шарнире в зоне привязки к комбайну величина реакции на ось Y близка к силе тяги. При отсутствии реальной силы трения в поворотных шарнирах при рывках комбайна возникают колебания рештаков. Их амплитуду можно ограничить усилиями в поворотных шарнирах пар «шток – цилиндр», но оптимальные режимы подобрать затруднительно, поэтому в реальной конструкции были выбраны цилиндрические серги с пазами с ограничением углов поворота до 15° . В каждой строке таблицы соответствует множество графиков проекций R_{ij} на оси, где i – номер шарнира, j – номер эксперимента.

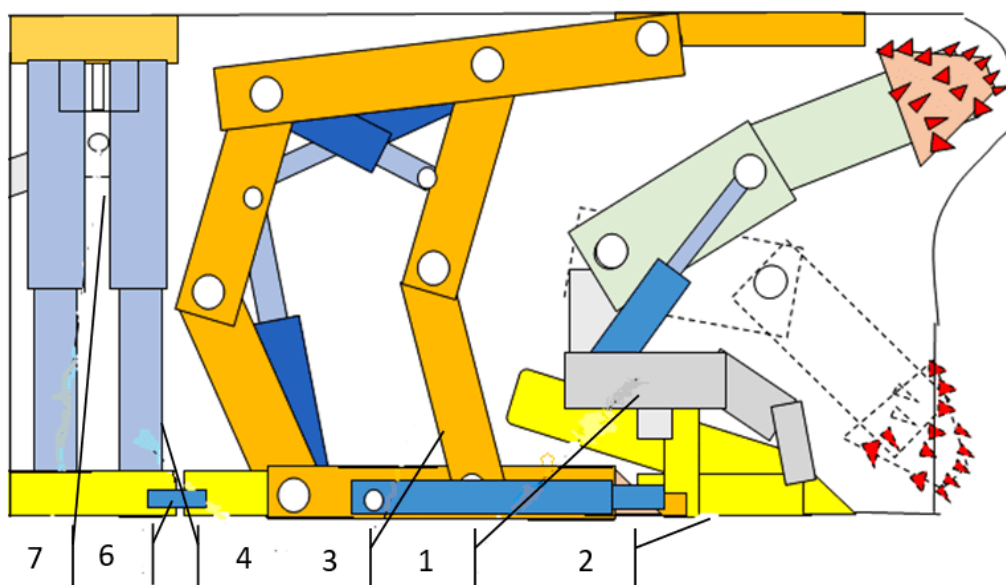
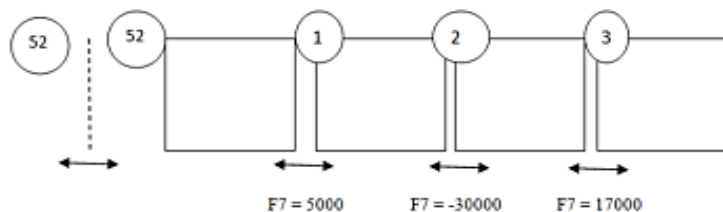


Рисунок 2. Агрегат камерной выемки: 1 – комбайн, 2 – угловой погрузчик, 3 – секция роботизированной крепи, 4 – стационарно-переносная крепь, 5 – поворотный конвейер, 6 – манипулятор

То есть, имеется множество значений (семейств) исходных данных для последующего нагружения става конвейера в зонах шарниров. На рис. 3 представлен ряд зависимостей из этих семейств, которые характеризуют особенности распределения опорных реакций в шарнирах, уровень их изменения в зависимости от параметров конвейера, учета различных факторов, что наравне с таблицами типа табл. 1 показывает широкие возможности программного подхода при получении и обработке данных с помощью технологии Adams с хранением данных в многомерных массивах баз данных, во много раз превосходящих возможности формульных выражений и определяющих функциональные связи сил реакции в шарнирах F_r :

$$F_r = f(L, M, M_i, F_a, F_r, F_{gz}, \text{Lim_hin}). \quad (1)$$

Таблица 1. Распределение проекций максимальных реакций в поворотных шарнирах по x,y, x/y



№ j	Гравитация	F _{gz}	F _t					52	53
			шарнир i						
1	Y G=9,8	F(i)	F _t = 2,65 × 10 ^{xx5}	<u>2.75e+5</u> 1.88e+5	<u>2.88e+5</u> 2.12e+5	<u>2.75e+5</u> 2.5e+5	<u>1.12e+5</u> 1.0e+5	<u>2.0e+5</u> 1.3+5	
2			F _t = 13 × 10 ^{xx4}						
3			F _t = 6,5 × 10 ^{xx4}	<u>2.0e+5</u> 1.5e+5**	2.2e+5 1.26+e5	<u>2.2e+5</u> 1.5e+5	<u>1.25e+5</u> 3.4e+5*	<u>1.8e+5</u> 3.2e+5*	
4		0	F _t = 2,65 × 10 ^{xx5}	1.45e+5 1.4e+5	<u>2.0e+5</u> 1.6e+5	<u>2.4e+5</u> 1.3e*5			
5			F _t = 13 × 10 ^{xx4}						
6			F _t = 6,5 × 10 ^{xx4}	<u>4.5e+5</u> 4.0e+5	<u>5.0e+4</u> 4.2e+4	<u>6.2e+4</u> 5.2e+4	<u>1.1e+4**</u> * 6.0e+3	<u>2.2e+4***</u> * 1.6e+4	
7	Y G=0	F _{Гн} = d	F _t = 2,65 × 10 ^{xx5}	<u>2.25e+5</u> 1.28e+5	<u>2.35e+5</u> 1.8e+5	<u>2.5e+5</u> 2.25e+5			

Примечание: Числитель реакции по оси X, в знаменателе Y

*резкий рост реакций при аномально больших поворотах на краевых шарнирах

** имелась реакция 2.7e+

*** имелись значения до 1.3 E+4

**** до 3.3e+4

Переменные отражают зависимости и ограничения от геометрии движущейся системы L, массы M, моментов инерции M_i, действующих внешних активных сил F_a, сил трения F_f, сил в поворотно-постурательном шарнире F_{gz} (от поворотных домкратов 5 на рис. 1) и ограничений, накладываемых типом шарнирных связей Lim_hin, что исходит из уравнений Лагранжа – Эйлера внедренных в Adams:

$$p_i = \frac{\partial L}{\partial q_i} + \sum_{k=1}^{m_2} \overline{F}_j \cdot \frac{\partial \bar{r}}{\partial q_i} - \sum_{j=1}^m \lambda_j \frac{\partial \Phi_j}{\partial q_i},$$

$$p_i - \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} = 0,$$

$$\begin{aligned}
 u_i - q_i &= 0, \quad i = 1, \dots, 6n, \\
 \Phi_j(\{q_a\}, t) &= 0, \quad j = 1, m, \\
 \overline{F}_k - \overline{f}_k(\{q_a\}, \{u_\beta\}, \{\lambda_\gamma\}, t) &= 0, \quad k = \overline{1, m_a}.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Они описывают движение системы из n твердых тел m_a заданными силами и ограниченными m голономными связями с функциями L Лагранжа, при использовании инерциальных глобальных координат твердого тела, его центра масс и углов Эйлера [10]. Сохранение командного файла в Adams с использованием меню Export позволяет получить программу модели на языке близком к С – одном из самых эффективных инструментов инженерного проектирования, используемого в робототехнике. Обновление этого кода может быть произведено в любом текстовом редакторе и далее он импортируется в Adams с уже новыми возможностями. В частности, вводятся циклы для получения зависимостей от влияния переменных типа M_i, F_a, F_f , в (1) при получении семейств данных. При этом каждому из семейств будет соответствовать своё напряженно-деформированное состояние конвейера и его прочность, что с учетом динамики нагружения [4, 13] позволяет выполнить расчет става для наихудших условий, а при автоматизированном управлении исключать опасные состояния. Как на модели, так и при моделировании на стендах, поворот рештаков производился начиная от комбайна в порядке: 3, 2, 1, 53, 52. Это объясняется тем, что поворот производился в идеальных условиях протяжкой стальных рештаков по поверхности древесно-стружечных плит, так что силы трения не оказывали существенного значения, особенно при равных коэффициентах трения K_t для всех рештаков [14-15]. При моделировании в Adams такая картина несколько искажалась (рис. 4) ввиду того, что их трение о почву моделировалось не в полной мере (за счет гравитации), а также изменялось для исследования. Так, повышение K_t на отдельных стыках рештаков разделяло став на участки, в рамках которых став оставался линейным с резким разворотом на этих стыках. Кроме того, введение в модель Adams силы F_{gz} затрудняло решение уравнений из-за колебаний рештаков, поскольку условия движений между поршнем и цилиндром меняли знак. В этом случае в Adams автоматически изменяется методика расчета, вводится специальное приближение и полученные зависимости имеют скачки. Эти данные интересны и тем, что позволяют моделировать ситуацию, когда вместо гидроцилиндров в ППШ применяются цилиндрические серьги с пазом. В этом случае в реальности при встрече одним из рештаков неровности в почве он может развернуться до полного исчерпания хода, обеспечиваемого пазом. Его движение будет под углом к ставу и вызовет повышение силы тяги и нагрузки на шарниры. При наличии гидроцилиндров в ППШ нагрузки могут быть регламентированы и не превышать допускаемые, но и при применении цилиндрических серёг с пазом аварийная ситуация не будет частой, так как траектория движения каждого из рештаков повторяет предыдущую, а неровности почвы встречает первый рештак, который «зачищает» путь и при этом может быть снабжен гидроцилиндром. В стендовых исследованиях поворот макета в масштабе 1: 3, состоящего из 7 рештаков, осуществлен при усилии подачи в среднем около 150 Н (в идеализированных условиях). Пересчет на реальные условия с учетом протягивания полноразмерного макета показывает, что сила тяги комбайна достаточна для протяжки конвейера длиной около 32 м. В отличии от модели Adams, поворот макета при протяжке за головную часть осуществлялся без видимых колебаний става и поворот рештаков четко происходил в последовательности от первого до последнего.

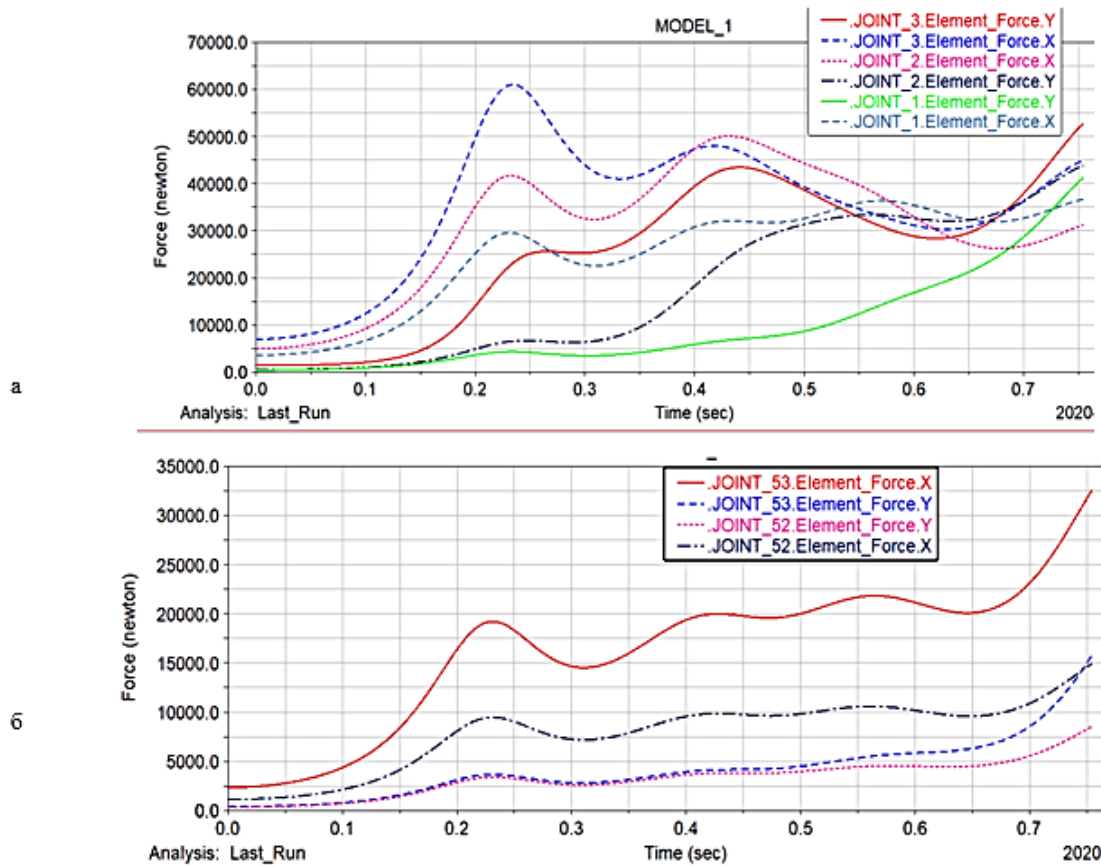


Рисунок 3. Серии усилий реакций в поворотных шарнирах (фото экрана):
а) шарниры 1-3; б) 52,53

На рис. 4, а приведены осциллограммы давления в полостях гидроцилиндра натяжения с момента разгона и его ритмичной работы, что выполняется для случая поворота става на 90° . Очевидна дифференциация на участки (пакеты) с пиками давлений, которые распределены с определенным шагом. Пики давления в виде отдельных пакетов, формирующиеся при прохождении скребками зон стыков рештаков поворотного конвейера и при наезде скребков на звездочку, являются важной идентификационной характеристикой особенности состояния конвейера с учетом шага между пакетами, скребками, а также времени движения скребка через рештак. При моделировании протягивания конвейера в Adams каждый номер шарнира должен быть зафиксирован для отражения в базе данных (рис. 4, б). Полученные данные позволяют определить нагрузку на рештаки произвести расчет става на прочность, а также уточнить условия поворота конвейера в камеру и его положение с учетом полученного радиуса разворота, особенностей движения рештаков и сечения выработки, а также визуально сравнить особенности движения в моделях и натуре. Поворотный конвейер конструктивно сложнее обычного, и при расположении систем поворота ПШ и ППШ по бокам конвейера его габариты возрастают по ширине на 5 %, в то время как для горизонтально-замкнутого эта величина достигает 50 % при этом приспособление к гипсометрии почвы остается на уровне обычного конвейера.

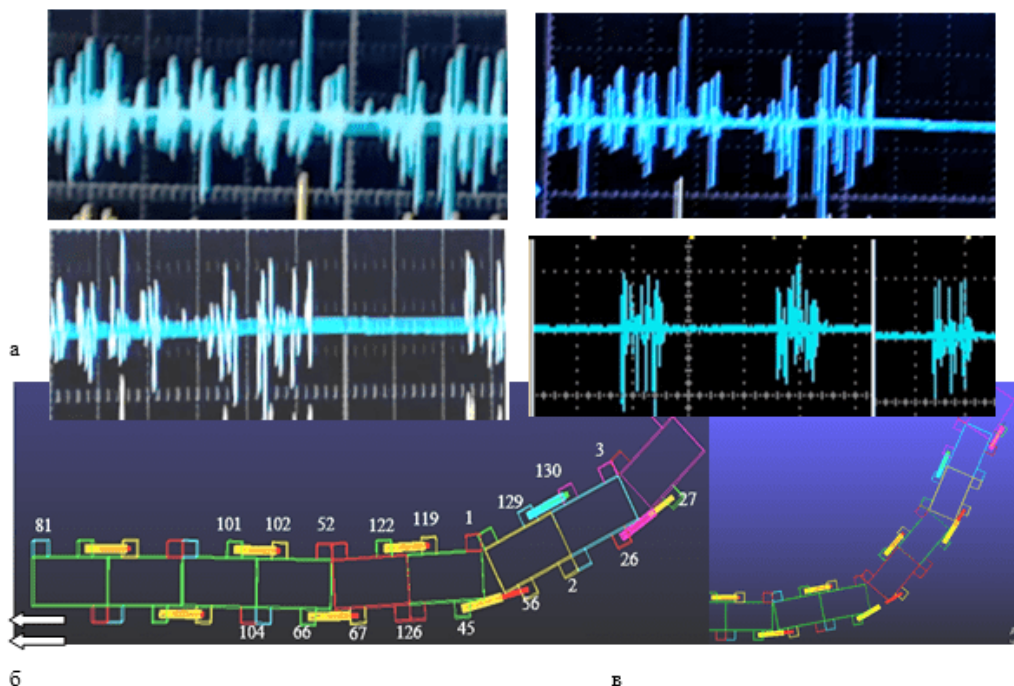


Рисунок 4. Последовательная дифференциация сигнала по мере натяжения цепи и перехода к ритмичной работе (*а*); положения конвейера при протягивании за комбайном (*б, в*) в Adams (совпадают с данными при протягивании на стенде при учете трения в шарнирах)

Важным моментом проектирования является его экономическая целесообразность, которая также определяется конструктивной простотой, а это достигнуто применением ППШ с цилиндрической серьгой и пазом. Усложняется и сборка конвейера, что предопределено особенностями работы приводной и натяжной звездочек в момент прохождения поворота головной секцией. Обеспечить конструктивную простоту можно при наличии инструментов, визуализирующих процессы сборки, взаимодействия деталей и узлов конвейера. Такая схема должна позволять легко присоединять к ней детали, а также иные машины и оборудование, входящие в комплекс. Таким образом она должна отвечать принципам иерархии сборочных единиц и в то же время обеспечивать расчеты влияния одних узлов и деталей на другие (рис. 5). Такие системы проектируются в базе данных, а её инфологическая схема должна быть многомерной классификацией, когда каждый независимый узел рассматривается как одна из проекций (измерений) вышележащего узла. Строгая иерархия позволяет легко понять конструкцию машины, организовать поддетальный и поузловой сборочный процесс. Эти же обстоятельства (строгая последовательность привязки деталей одна к другой и затем узлов) позволяют организовать расчет стоимости машины с учетом сборочных работ. Вытекающим из сказанного процессом будет и расчет надежности каждой детали (надежность деталей принимается как базовая и назначается проектировщиком исходя и особенностей ее изготовления), а надежность узла из этих деталей обычно строится по теореме умножения. Заметим, что такая организация баз с процессорами в таблицах (или гиперссылок на программные пакеты) позволяет прогнозировать состояние конвейера при изменении режимов его работы. При внедрении алгоритмов самообучения базу можно рассматривать как сетевую с элементами простых нейросетей [12].

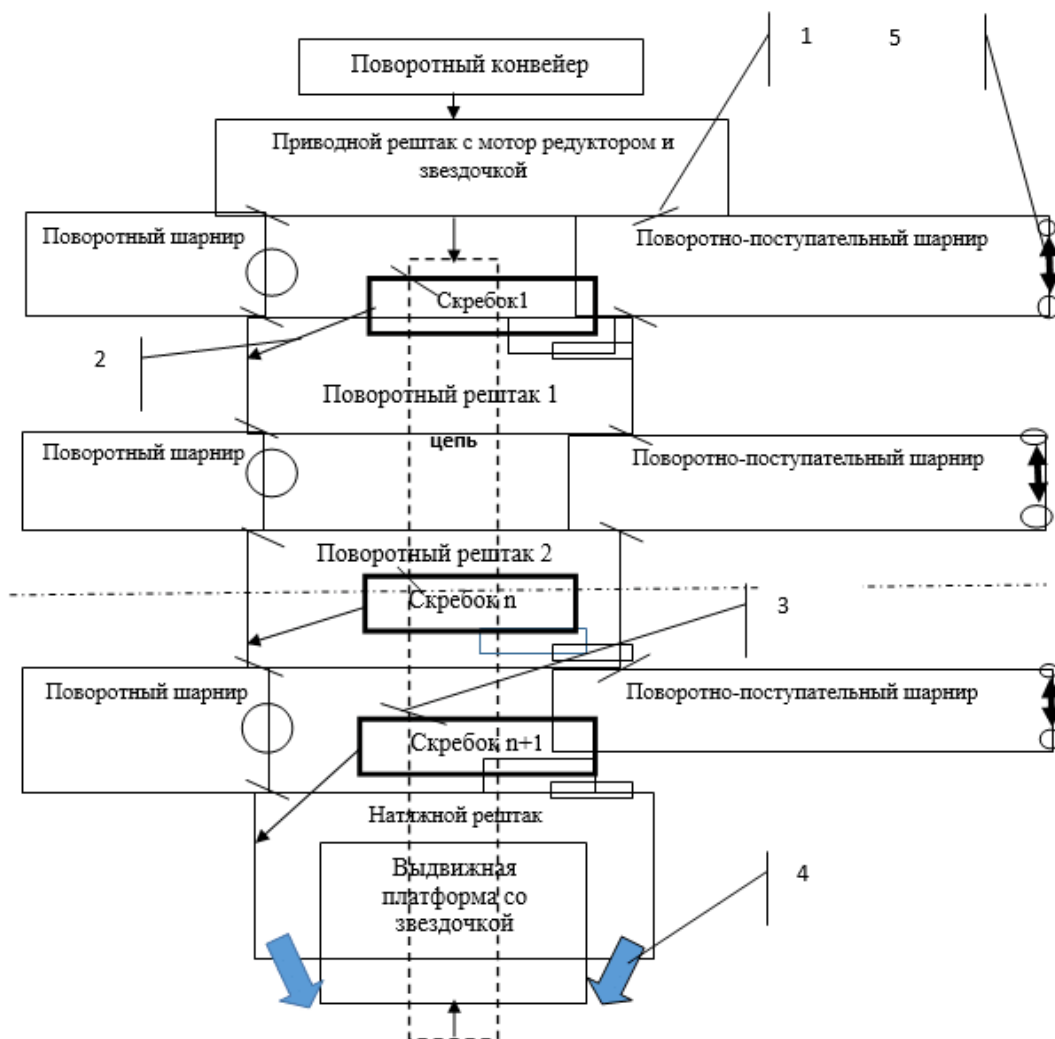


Рисунок 5. Поворотный конвейер – инфологическая схема: 1 – жесткая связь; 2 – контакт скребка с бортом за счет прижатия цепью при повороте става; 3 – жесткая связь скребка и цепи; 4 – гидроцилиндры натяжены; 5 – поворотно-поступательный шарнир

В приведенной на рис. 5 инфологической схеме в узлах «Приводной рештак с мотор-редуктором и звездочкой» и «Выдвигающая платформа со звездочкой» содержатся гиперссылки на пакеты Adams и Ansys, решающие задачи движения цепи, прочности рештаков (программы авторов для пакета Ansys изложены ранее в [3-4] и частично в [5]). Для совместной работы электрического и гидравлического приводов с ходом гидроцилиндров до 0,5 м при повороте става конвейера такие исследования ранее не проводились. Полученные осциллограммы также отражают сложное взаимовлияние этих систем. Комплексный учет данных моделирования и стендовых экспериментов возможен в базе данных сетевого типа. Переход к ней за счет ссылок на программные процессоры в таблицах – узлах базы дает возможность обработки данных с любого участка инфологической схемы, например, по типу табл. 1. Расширяются возможности для подключения других устройств, например комбайна, осуществляющего протяжку

конвейера, рис. 4, б и 4, в. Такие задачи в основном решаются численно и предполагают наличие логических операторов типа «если, то», как уже указывалось, обеспечивая возможности простых нейросетей [12].

Сопоставляя рис. 1 и 5 легко понять принятые обозначения. Так, приводной рештак соединен стрелкой с цепью, а её направление показывает, что воздействие от него через звездочку передается на цепь. В то же время направление воздействия от цепи передается на натяжную звездочку выдвигной платформы. Двухсторонние стрелки указывают на раздвижку бортов соседних рештаков при повороте относительно шарниров (кружки слева), стрелка от скребка на борт рештака показывает направление давления роликов или торцов скребков.

Сборочные операции и документация сохраняется в базе данных. Схема на рис. 5 позволяет легко создать межтабличные связи в иерархической структуре таблиц базы.

Сборкой предусмотрены установка на стапели съёмных опор средних верхних 3 листов, их шабрение до нулевых зазоров и прихватка для устойчивого состояния с последующей установкой боковых листов с шабрением подгонкой и прихваткой. После выполнения всех технических требований производится установка проушин ПШ со специально обработанными контактными поверхностями, а также установка ППШ с последующим разворотом бортов на 15° и проверкой соответствия полученного зазора контрольным данным. Важный момент сборки – обеспечение нулевых зазоров между рештаками в линейном положении, и не более 8 мм после поворота на 15° , для чего предложена стапельная сборка конвейера, этапы которой фиксируются в базе данных. Обеспечение этого возможно при приработке контактных поверхностей на стапели с определенным порядком установки листов и бортов рештаков. Карта и циклограмма стапельной сборки привязываются к элементам инфологической модели, при этом проушины с повышенной точностью подготовки торцевых поверхностей и отверстий для шарниров сгруппированы в размерные группы и устанавливаются так, чтобы в среднем минимальный зазор был обеспечен. Тогда производится прихватка и далее устанавливается натяжной рештак. После сварки собранных элементов возможно производство испытаний в составе 3 основных рештаков. Далее повторяется сборка второго поворотного рештака и т.д., при этом испытания уже могут проводиться после достижения суммарного угла поворота в 90° .

Заключение. Проведены моделирование и исследования работы ведения конвейера к камере и его поворота на сопряжении на основе линеаризации уравнений динамики в пакете Adams. Нарботаны приемы использования в моделях его примитивов (объектов). Стендовые исследования, проведенные ранее, и конструктивный анализ полученных результатов с учетом запусков полномасштабного макета с приводной с мотор-редуктором и гидравлической натяжной системами поворотного конвейера показывают адекватность методики моделирования реальным условиям работы. При этом созданы основные элементы расчета поворотного конвейера, конструктивные решения узлов и системы поворотных и поворотно-поступательных шарниров. Конструктивная простота решений достигнута разработкой базы данных, в которой учитываются процессы подетальной стапельной сборки узлов многоприводной скребковой системы. База и таблицы представляют возможность проведения анализа надежности конструкции и её стоимостных параметров. Уточнены области применения поворотного конвейера при подземной, открыто-подземной добыче твердых минералов. Обоснована работоспособность поворотного конвейера, при этом скорость транспортирования в 1,4 раза превысила достигнутую на перегружателе Barracuda (1 м/сек). Впервые для системы натяжения

получены осциллограммы процесса от включения, разгона и работы привода, учитывающие повороты става конвейера на 90° при величине гидравлического натяжения до 0,5 м с учетом особенностей движения тягового органа в ставе.

Список литературы

1. Ушаков Л.С. Новая энергетическая концепция проходческого комбайна с планетарным ударно-скалывающим исполнительным органом // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) . – 2019. – №12. – С. 161-168. – DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-0-161-168.
2. Душан Терпак Этажно-камерная система разработки на шахте магнетита в Словакии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – №2. – С. 357-362.
3. Жетесова Г.С., Жакенов С.А., Бейсембаев К.М., Малыбаев Н.С., Нокина Ж.Н. Цифровые модели разработки сложнозалегающих участков как основа ресурсосбережения // Уголь. – 2019. № 6. – С. 28-34. – DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-6-28-34>.
4. Жетесова Г.С., Бейсембаев К.М., Мендикенов К.К., Телиман И. В., Акижанова Ж.Т. Моделирование работы скребкового конвейера в зоне поворота // Известия вузов. Горный журнал. – 2019. – С. 108–117. – DOI: 10.21440/0536-1028-2019-6-108-117
5. Жетесова Г.С., Бейсембаев К.М., Нокина Ж.Н., Асмагамбет Д.К., Акижанова Ж.Т. Моделирование камерной выемки с уступной формой забоя // Уголь. – 2021. – № 1. – С.14-20.
6. Krzysztof Cenacewicz, Andrzej Katunin Modeling and simulation of long wall scraper conveyor considering operational faults *Studia Geotechnica et Mechanica*. – 2016. – Vol. 38. – No. 2. – DOI: 10.1515/sgem-2016-0015.
7. Kondrahin, YU.A. Zubova, E.L. Tkachenko Multi-criteria approach to substantiation of the algorithm for launching a multi-drive face scraper conveyor with two-speed electric motors, URL: <http://masters.donntu.org/2014/fimm/zubova/library/VAK%201.htm> (accessed March 16, 2019).
8. Wodecki J., Stefaniak P., Wylomanska A., Zimroz R. & Zak G. (2016). Segmentation algorithm of road header vibration signal based on the stable distribution parameters. In *Vibroengineering Procedia*. – 2016. – Vol. 6. – Pp. 125-129. – <http://dx.doi.org/10.21595/jve.2016.17114>.
9. M. Doudkin, A. Kim, G. Guryanov, M. Mlynczak, M. Eleukenov, A. Bugaev, V. Rogovsky. Process modeling and experimental verification of the conditions of ice coverage destruction of automobile roads // *JMERD*. – Vol. 42, No. 4 (2019). – Pp. 01-08. – URL: <https://jmerd.org.my/jmerd-04-2019-01-08/>.
10. Мелентьев В.С., Гвоздев А.С. Основы кинематического и динамического моделирования в тмс. Adams: уч.-метод. пособие для вузов. – Самара: Издательство Самарского университета, 2018. – 48 с.
11. Моделирование численными методами процессов обрушения пород кровли/ Ю.М. Говорухин, С.В. Риб, А.М. Никитина, В.Н. Фрянов // Горный журнал. – 2019. – №4. – С. 23 – 26.
12. Behzad Tokhmechi, Jalal Nasiri, Haleh Azizi, Minou Rabiei, Vamegh Rasouli Estimation of heterogeneous reservoir parameters using Wavelet neural network: A comparative study // *International Journal of Mining and Geo-Engineering*. – Vol. 53, No. 2 (2019). – Pp. 203 -211.
13. Y. Lagunova, I. Ivanov, S. Horoshavin Perfection of constructive schemes of drive of running equipment of a career motor transport// *MATEC Web of Conferences*. – 2018. – Vol. 224. – 2031. – DOI: 10.1051/matecconf/201822402031.
14. Gerasimova A.A., Keropyan A.M., Girya A.M. Study of the Wheel-Rail System of Open-Pit Locomotives in Traction Mode. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. – 2018. – Vol. 47(1). – Pp. 35–38.
15. A. Keropyan, S. Gorbatyuk, A. Gerasimova Tribotechnical Aspects of Wheel-Rail System Interaction// *International Conference on Industrial Engineering, ICIE. Procedia Engineering*. – 2017. – 206. – Pp. 564-569.

References

1. Ushakov L.S. A new energy concept for a road-header with a planar impact-chipping executive body // *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2019. No. 12. S. 161–168. DOI: 10.25018 / 0236-1493-2019-12-0-161-168.

2. Terpak Dushan. Floor-and-chamber development system at a magnesite mine in Slovakia, Mining informational and Analytical Bulletin. 2016, No. 2, S. 357.
 3. Zhetessova G.S., S.A. Zhakenov, Beisembayev K.M., Malybayev N.S., Nokina Zh.N. Digital models of Developed of sites in difficult conditions as the basis for resource saving // Coal. 2019, no 6. P. 28-34. DOI:<http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2019-6-28-34>.
 4. Zhetessova G.S., Beisembayev K.M., Mendikenov K.K., Teliman I.V., Akizhanova Zh.T. Modeling the operation of the scraper conveyor in the turning zone Mountain Journal. 2019. No. 6. P. 108–117. DOI: 10.21440 / 0536-1028-2019-6-108-117.
 5. Zhetesova G.S., Beisembaev K.M., Nokina Zh.N., Asmagambet D.K., Akizhanova J.T. Modeling of a chamber excavation with a ledge face. Coal, 2021, no. 1, P. 14-20.
 6. Krzysztof Cenacewicz, Andrzej Katunin Modeling and simulation of long wall scraper conveyor considering operational faults Studia Geotechnica et Mechanica, Vol. 38, No. 2, 2016 DOI: 10.1515/sgem-2016-0015.
 7. Kondrahin, YU.A. Zubova, E.L. Tkachenko Multi-criteria approach to substantiation of the algorithm for launching a multi-drive face scraper conveyor with two-speed electric motors, URL: <http://masters.donntu.org/2014/fimm/zubova/library/VAK%201.htm> (accessed March 16, 2019).
 8. Wodecki J., Stefaniak P., Wylomanska A., Zimroz R. & Zak G. (2016). Segmentation algorithm of road header vibration signal based on the stable distribution parameters. In Vibroengineering Procedia Vol. 6, 125-129. <http://dx.doi.org/10.21595/jve.2016.17114>.
 9. M. Doudkin, A. Kim, G. Guryanov, M. Mlynczak, M. Eleukenov, A. Bugaev, V. Rogovsky. Process modeling and experimental verification of the conditions of ice coverage destruction of automobile roads // JMERE. – Vol. 42, No. 4 (2019). – Pp. 01-08. – URL: <https://jmerd.org.my/jmerd-04-2019-01-08/>.
 10. Melentiev V.S., Gvozdev A.S. *Osnovy kinematicheskogo i dinamicheskogo modelirovaniya v msc. Adams: uchebno-metodicheskoe posobie dlya vuzov* [Fundamentals of kinematic and dynamic modeling in msc. Adams: teaching aid for universities]. - Samara: Samara University Publishing House, 2018. – 48 p.
 11. Govorukhin Yu.M., Rib S.V., Nikitina A.M., Fryanov V.N. Numerical modeling of roof rock collapse processes // Mining magazine.- 2019.- №4. С. 23-26.
 12. Behzad Tokhmechi, Jalal Nasiri, Haleh Azizi, Minou Rabiei, Vamegh Rasouli Estimation of heterogeneous reservoir parameters using Wavelet neural network: A comparative study // International Journal of Mining and Geo-Engineering. - 5 3 - 2 (201 9) 2 0 3 - 2 11 pp. 203 -211.
 13. Y. Lagunova, I. Ivanov, S. Horoshavin Perfection of constructive schemes of drive of running equipment of a career motor transport// MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 224. – 2031. – DOI: 10.1051/matecconf/201822402031.
 14. Gerasimova A. A., Keropyan A. M., Giryа A. M. Study of the Wheel-Rail System of Open-Pit Locomotives in Traction Mode. Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2018. – Vol. 47(1). P. 35-38.
 15. A. Keropyan, S. Gorbatyuk, A. Gerasimova Tribotechnical Aspects of Wheel-Rail System Interaction// International Conference on Industrial Engineering, ICIE. Procedia Engineering. – 2017. – 206. – P. 564-569.
-
-