

УДК 622.014.2:658.513.011.56:681.3.001.57

РАЗРАБОТКА БАЗОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВЫЕМКИ ИСКОПАЕМОГО С ПОВОРОТОМ КОНВЕЙЕРА НА 90°

Жетесова Гульнара Сантаевна¹,
zhetesova@mail.ru

Бейсембаев Каким Манапович¹,
Kakim08@mail.ru

Малыбаев Нурлан Сакенович¹,
malybaev@yandex.ru

Юрченко Василий Викторович¹,
juvv76@mail.ru

Шманов Махамбет Нажметдинович¹,
shmanovm@mail.ru

¹ Карагандинский государственный технический университет,
Казахстан, 100012, г. Караганда, Бульвар Мира, 56.

Актуальность работы обусловлена удорожанием выемки пластов твердых минералов при подземной добыче. Применение более производительных и эффективных технологий сдерживается отсутствием поточных средств транспортирования добытых минералов. Впервые промышленное использование поворотного конвейера выполнено фирмой Joy (США) в начале 2000 г. Поворотный ленточный конвейер имел большие габариты и был сложен в изготовлении.

Цели: анализ конструкций, исследование параметров и разработка нового конвейера, создание элементов методики его расчета и базовых технологий выемки короткими забоями с учетом опыта создания аналогичной технологии в Караганде.

Объект исследования – технология выемки пластов твердых минералов при подземной добыче.

Методы. С учетом обеспечения патентной новизны и отсутствия достаточных публикаций выполнено: системный анализ конструкций поворотных конвейеров (до 90°), технологий разработки пластов твердых минералов, методик их моделирования за период около 40 лет. Исследования проведены на основе метода конечных элементов и лианеризации уравнений динамики с учетом особенностей нагружения и деформирования элементов конструкций в зоне поворота, сопоставлены схемы ленточных и скребковых конвейеров.

Результаты. Испытания выявили выпячивание ленты, большие усилия на боковые стороны секций конвейера и их расхождение в зоне поворота. Последнее характерно и для скребкового конвейера. Созданная методика позволяет определить основные параметры конвейеров, учитывает нелинейное взаимодействие ленты с направляющими и коэффициент трения скольжения, позволяет рассчитать боковую нагрузку и параметры ленты. Установлено, что в условиях камерной выемки более эффективен и безопасен скребковый конвейер. Его расчет и изготовление проще, а размеры по вертикали в 1,2–1,3 раза меньше, чем у ленточного конвейера. Построена имитационная модель, и получены основные параметры скребков, опорные усилия и шаги их установки. Секции конвейера могут поворачиваться с помощью шарниров, один из которых соединен с левым бортом конвейера, а другой в этот момент разъединен с правым. Конструкция конвейера и элементы базовой коротко забойной технологии защищены евразийским и казахстанским патентами и обеспечат эффективную выемку сложно залегающих ископаемых; в 2–3 раза уменьшат первоначальную стоимость работ. Прочность конструкции выше, чем у ленточного конвейера, поэтому её можно применить и для разработки руд, с буровзрывной отбойкой полезного ископаемого.

Ключевые слова:

Комплексное использование, поворот, модель, расчет, контакт, Ansys, Adams, трудноизвлекаемые запасы.

Введение

Для разработки пластовых месторождений трудноизвлекаемых запасов существуют технологические схемы, обеспечивающие более эффективную выемку, чем традиционные лавные, но их промышленное применение сдерживает трудно решаемая проблема поворота транспортного потока конвейером на 90°. Ее решение обеспечивает проходческим и специализированным комбайнам возможность непрерывно проводить очистные камеры, внедряясь с транспортной выработки в боковую стенку, а после проходки обратным ходом выходить из камеры и продвигаться вперед для очередного разворота и выемки следующей камеры.

Производительность такой системы не менее чем у лав, а затрат на начало работ в 2–3 раза меньше. Но применение таких систем сдерживается отсутствием рациональных конструкций и методики их расчета.

Сопоставления и основные решения по реализации эффективной выемки

Конечно, для перегрузки потока возможно применение нескольких конвейеров или самоходных вагонов, но в условиях ограниченности сечения подземных выработок и камер это лишает технологию маневренности, и ее конкурентоспособность снижается. Но проблема состояла не только в том,

чтобы повернуть поток (такие варианты иногда применялись в лавных конвейерах), но и в том, чтобы сделать это в любом месте по длине конвейера, поскольку весь конвейер шагами втягивался в выработку или наоборот выходил из нее, т. е. поворот надо осуществить у любого рештака (секции) става конвейера.

Промышленная реализации схемы поворота частично осуществлена в США фирмой «Джой» (Joy), традиционно использующей ленточные конвейеры при разработке угольных пластов камерными системами до глубины 200 м. Для этого была создана новая методика проектирования и получено около 10 патентов на конструкцию конвейера [1, 2], поскольку ранее учитывались малые углы поворота [3–6]. Решались вопросы предотвращения вспучивания ленты в зоне поворота и особенностей ее напряженно-деформированного состояния в связи с одновременным действием на полотно больших, при длине ленты до 160 м, растягивающих и сжимающих усилий. Фирмой Joy была создана комбинированная лента из специальной мягкой резины по бокам и прочного кевлара в центре. «Ноу хау» проекта поддерживалось на всех этапах проектирования системы и даже при её эксплуатации. Система должна была способствовать

развитию новых методов освоения недр и добычи полезных ископаемых, размещения под землей транспортных коммуникаций и опасных производств. С этими решениями связано и вовлечение в освоение недр известной корпорации Space X, разрабатывающей космические проекты. В 70–80 гг. аналогичные предложения были высказаны в Казахстане ректором Карагандинского политехнического института (КПТИ), академиком А.С. Сагиновым при создании Центрально-Казахстанской академии АН и Института проблем комплексного использования недр, в котором исследовалась безлюдная выемка на основе камерных технологий и проходческих роботов [7]. Ранее в Караганде с участием КПТИ (ныне КарГТУ) и Гипроуглегормаш были проведены испытания конвейеров вначале на базе ленточных (КЛИП1), имевших конструктивные схемы бункер-конвейеров на колесном ходу Л.М. Алотина [4], а затем и скребковых конвейеров [8].

Испытания по заказу головного института Пермгипрогормаш прошли начиная с 1986 г. Вначале был испытан конвейер длиной 40 м с поворотом до 45°, а затем, в 1987 г., до 90°, рис. 1, а. Создание поворотного конвейера в Караганде частично финансировалось ПО Уралкалий. Причина это-

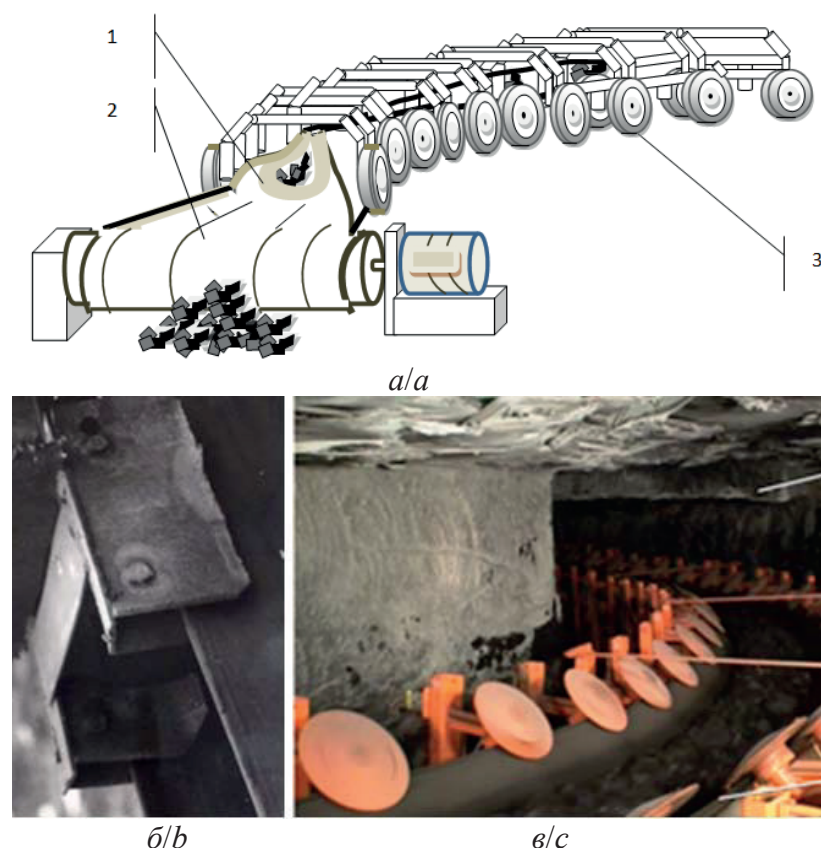


Рис. 1. Сопоставление конструкций: а) КЛИП1 с поворотом транспортирования на 45°: 1 – каплеобразование ленты в зоне поворота (реконструкция фото); 2 – выравнивание ленты при выходе из неё; 3 – колеса; б, в) направляющая КПТИ для предотвращения вспучивания и дисковые упоры фирмы «Joy»

Fig. 1. Comparison of designs: а) KLIP1 with 45° transportation turn: 1 is the tape equalization in a turn zone; 2 is the alignment of a tape behind a turn zone; 3 are the wheels; б, с) a plate (KSTU) and a disk (Joy) for uplift prevention

го в том, что первые комбайны для камерной выемки калийных солей создавались в Караганде (Караганда 7/15 и частично Урал 20 КС) при участии лауреата Гос. Премии СССР, доц. КарГТУ А.Н. Шманева [9]. В испытаниях было установлено, что под действием поперечных сил возможны смещения между секциями конвейера и образование каплеобразной формы ленты на повороте, вызывающие её интенсивный износ. Установлена необходимость предварительного натяжения ленты. В экспериментальном порядке это производилось винтовыми устройствами. Стабилизация ленты в зоне поворота выполнялась в виде направляющей с пазом длиной до 0,15 м, в который входила боковая часть ленты, рис. 1, б. Но это способствовало тому, что между лентой и поверхностью паза возникало трение, вызывающее износ и возрастание потребного усилия на приводном барабане, и соответственно смещение между секциями. В версии ф. Жоу были применены наклонные диски (рис. 1, в), оси которых крепились в верхней части секции и прижимали ленту к боковым наклонным роликам, установленным ниже. Движение ленты вызывало вращение дисков, уменьшавших трение, и, кроме того, имелась возможность упругого смещения дисков вдоль оси, что смягчало режим работы. Но высота этих элементов составила свыше 0,2 м, а с учетом ролико-опор полотна – более 0,5 м, что исключало его применение в лавах по традиционным схемам и в камерах тонких пластов, доля вовлечения которых в добычу с каждым годом возрастает.

Разработка скребкового одноцепного конвейера с центральным расположением цепи с поворотом на 90° была проведена с участием КПТИ ещё раньше [8]. В ходе испытаний рассмотрены особенности динамики в зоне поворота и установлена принципиальная возможность его устойчивой работы. В конце 80-х гг. проведены промышленные испытания агрегата Тентек 2КБ (главный конструктор к.т.н. Б.Я. Пономарев из Карагандинского научно-исследовательского угольного института КНИУИ, ПО Карагандауголь) с горизонтально замкнутым скребковым конвейером. Тентек 2КБ – это автоматизированный конвейер-поезд на колесном ходу с безлюдной выемкой [5]. Его секции (рис. 2) шарнирно соединены по центру и несут изгибающийся горизонтально-замкнутый конвейер с консольными скребками, с поворотом транспортирования на угол до 90° за счет специальной поворотной платформы. Рабочая и холостая ветви расположены на одном уровне, поэтому поворот происходил вокруг вертикальной оси. Он осуществлялся на 6–7 секциях, разворачивающихся в пределах специальной платформы у входа в камеру. Это вызывало необходимость после выхода агрегата из камеры и передвижения к зоне очередной камеры демонтировать платформу, а затем устанавливать её на новом месте. Для поддержания кровли применялись ленточные гусеницы в верхней части секции с небольшим подпором от

гидростойки. Передвижение происходило без снятия крепи с распора. Привод располагался на транспортном штреке в конце агрегата, а вращение исполнительного органа выполнялось через карданную передачу. Эти работы проводились и в Центрально-казахстанском отделении АН, где решались вопросы устранения недостатков и создания более совершенных конструкций (авторы статьи). Испытания, проведенные на ш. Тентекская, подтвердили основные конструктивные и технологические решения. Пройдено девять камер, длиной не менее 45 м. Между камерами обычно оставляются угольные целики. Но у Тентек 2КБ была возможность после выемки камеры развернуть барабаны и расширить камеру, выполняя обратный ход. Но ширина конвейера была в 2 раза больше, чем при вертикальном расположении ветви, а скребки крепились консольно, что вызывало их изгиб. Система не могла поворачиваться у любого рештака, а только у поворотных платформ.

Для ленточных и скребковых конвейеров была выявлена общая проблема, и она заключалась в резком изменении условий работы деталей, расположенных в зоне поворота по большему и меньшему радиусу. В последней зоне возникали большие опорные усилия на борт конвейера, а в первой действовали растягивающие нагрузки. Для ленточных конвейеров это вызывало выпирание ленты, а для скребковых поломку консольных скребков, и во всех случаях смещения секций.

После распада СССР связи с предприятиями Уралкалий нарушились, а ПО Карагандауголь было передано в ArcelorMittal, что полностью изменило условия работы КарГТУ, Гипроуглегормаш и лаборатории безлюдной выемки Центрально-казахстанского отделения АН, в результате чего исследования были прекращены. В то же время ф. Жоу в США, после успешных экспериментов, перешла к промышленному использованию таких систем для камерной отработки угольных пластов и в Уралкалий рассматривался вопрос о приобретении для РФ американского ленточного конвейера-поезда [1].

Основные методические решения и их реализация в программных пакетах

В КарГТУ эти работы затем были продолжены. С этой целью были разработаны программные комплексы для моделирования зоны поворота на основе пакетов Ansys для ленточных, а с применением пакета Adams для скребкового конвейеров, что позволяло создать методику расчета нагрузок в этой зоне и работоспособную конструкцию. В первом случае (рис. 3, а), учитывая особенности сеточных технологий расчета с простой линейной [10] и сложной моделями [11–13], выбран анализ на основе метода конечных элементов в соответствии с методикой [14, 15]. Целью моделирования было получение предварительной картины контактного взаимодействия боковой поверхности ленты с по-

верхностью платформы, уточнение коэффициентов упругости и пластичности, набора конечных и контакт-элементов, адекватно описывающих процесс. Учитывалось нелинейное деформирование целевой поверхности ленты, проскальзывание с коэффициентом трения (0,1–0,2). Начальная модель в основном предназначена для условий работы конвейеров, приведенных в [16, 17], а также для подготовки уточненной модели с имитацией всех основных элементов конвейера (роliko-опор, сложной формы ленты, рамы секции). Это позволит проводить анализ особенностей работы конвейеров, возможности их создания или ремонта в условиях РК, а также сопоставления возможностей проектирования ленточных и скребковых конвейеров, когда необходимо иметь простые конструктивные решения и методику расчета, используемую в режимах работы с обратной связью. Она позволяет проверить обоснованность выдвинутых предложений о характере деформации ленты и обеспечении её предварительного натяжения с целью исключения больших величин выпирания.

С учетом требований к контактнм задачам в приложении Ansys Contact Wizard выбраны контактные пары и конечные элементы Solid 92 и Conta 174, рис. 3, ж. Для адекватности модели, имеющей ряд неопределенных параметров, требуется многократное использование модели с подбором и перерасчетом данных. При этом требования предъявляются и к методике построения сетки

[18, 19]. Поворот ленты сопровождается растяжением волокон, дальних от центра поворота (ЦП), и сжатием ближних к нему (рис. 3, б). Но в реальности сжатие вызовет каплеобразование материала, а при наличии рассредоточенных опор волнообразное выпирание с нулевыми значениями у опор. Для предотвращения выпирания материал ленты может быть предварительно растянут (рис. 3, в) так, чтобы его сжатие при повороте оказалось компенсированным (рис. 3, г). Но тогда дальние волокна будут растянуты на величину в 2 раза больше, чем это необходимо для поворота на 90°. Можно допустить небольшую волнообразность, чтобы снизить требования к материалу ленты, поэтому удерживающие устройства необходимы в любом случае. Кроме распределения напряжений τ_{xy} , представленных на цветной диаграмме (рис. 3, ж), где представлены опасные зоны нагружения, по любому из сечений могут быть построены графики уточненных σ_x , σ_y или σ_z , а также эквивалентные напряжения и деформации, для чего в программу достаточно ввести координаты начальной и конечной точки [20] (рис. 3, з). Можно получить и напряжения по контактнм поверхностям, что позволяет судить о величине бокового давления смещающего секции. Напряжения в волокнах и условия для развития трещин существенно сокращаются при снижении модуля упругости ленты, чем вероятно и была продиктована комбинированная конструкция ленты ф. Жоу. Здесь деформации во-

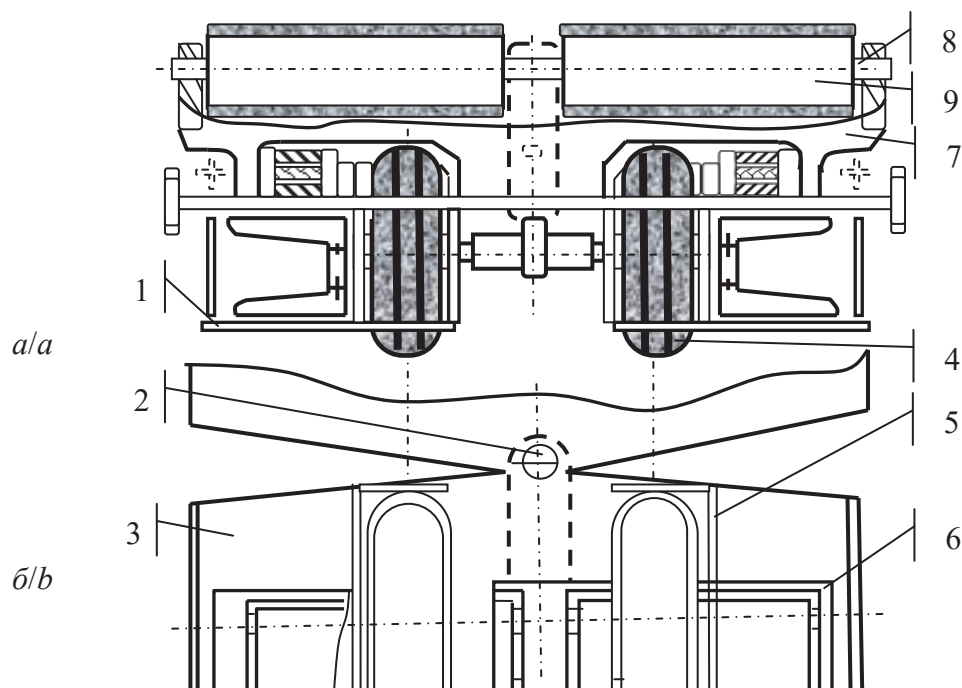


Рис. 2. Сечение (а) и вид снизу (б) секции конвейера-поезда Тентек: 1 – короб с рабочей (слева) и холостой (справа) ветвями конвейера; 2 – шарнирное соединение секций; 3 – корпус; 4 – колеса; 5 – кожух; 6 – лента гусеничного перекрытия; 7 – рама гусениц; 8, 9 – ось и барабан ленточных гусениц

Fig. 2. Section (a) and bottom view (b) of the conveyor-train Tentek: 1 is the box with a loaded (left) and return (right) conveyor strands; 2 is the socket join of the sections; 3 is the basis frame; 4 are the wheels; 5 is the casing; 6 is the supporting tape; 7 is the track frame; 8, 9 is the axis and the drum of tape track

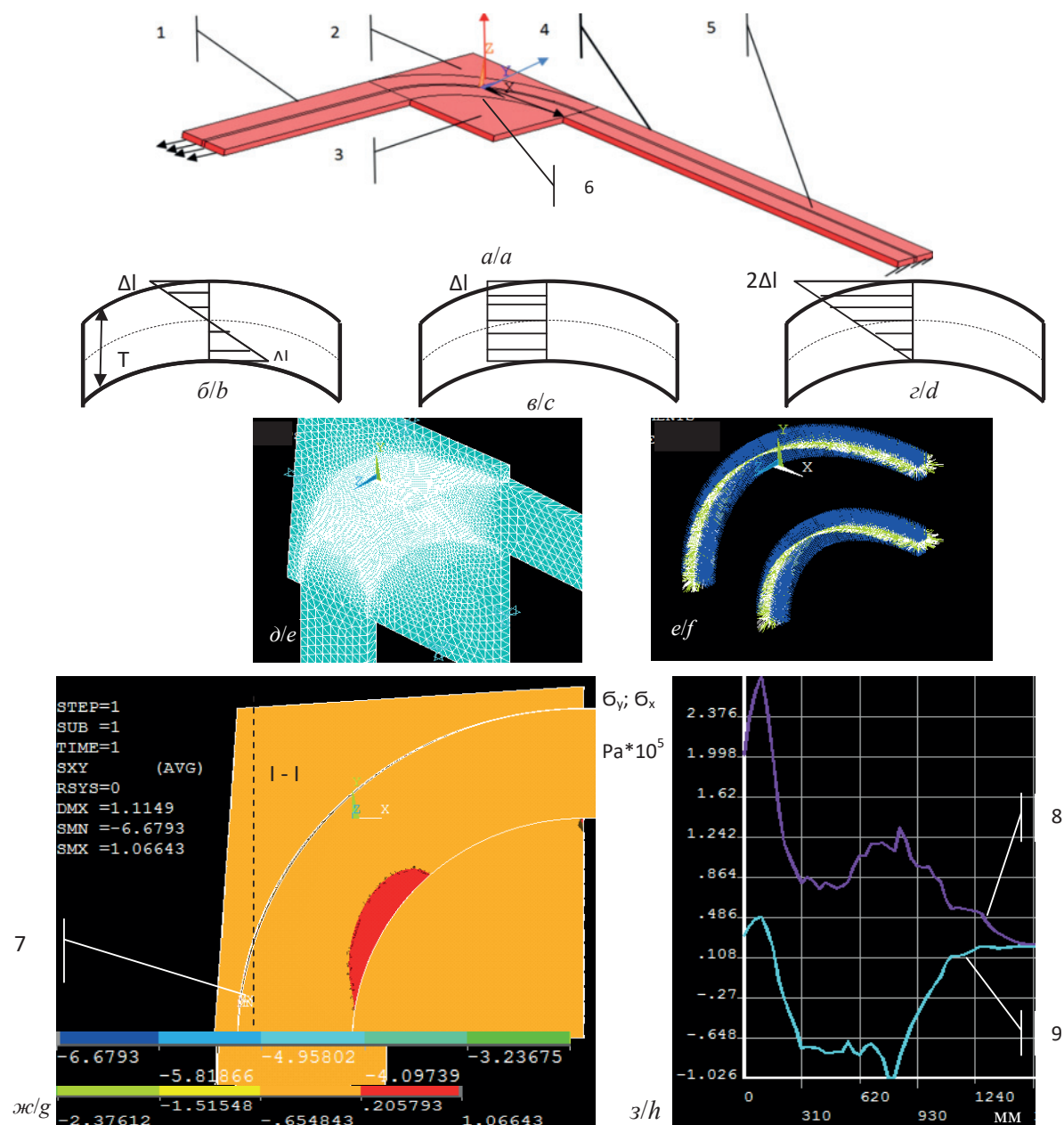


Рис. 3. Моделирование зоны поворота: а) модель, 1, 4 – дальние от центра поворота части ленты; 2, 3 – направляющие опоры; 5 – малodeформируемая часть; 6 – зона контакт-элементов; расчетные и компенсирующие деформации ленты: б) от изгиба; в) предварительные; г) компенсирующие; д) конечно-элементная сетка; е) вид контакт-элементов на целевой и контактной поверхности; ж) концентрация напряжения τ_{xy} в ленте у направляющей опоры; з) зона опасных напряжений; и) напряжения σ_y (8) и σ_x (9) вдоль линии I-I (а, д, е, ж, з, – фото с экрана Ansys)

Fig. 3. Modeling a swivel zone: а) model: 1, 4 are the parts of the tape remote from rotation center; 2, 3 are the guide supports; 5 is the slightly deformed part; 6 is the contact-element zone; the calculated and compensating deformations of the tape: б) from a bend; в) preliminary; г) compensating; д) finite elements grid; е) contact-elements on a target and contact surface; г) stress concentration τ_{xy} at the support; з) the critical stress zone; и) stresses σ_y (8) and σ_x (9) along the line I-I (а, е, г, и, к are the photo from the Ansys screen)

локон (рис. 3, б, з) почти в 2–10 раз меньше, чем по краям, а следовательно, можно применять жесткие прочные материалы. В условиях республики Казахстан создать такую ленту затруднительно, что следует из анализа трещинообразования по [21, 22], где подпрограммой Ansys Concetrat KPs

выполнена генерацией сетки в окрестности вершины трещины, а также с учетом [10, 13, 23]. Но имеется возможность применения полученных результатов при углах поворота до 45° для магистральных конвейеров, когда нагрузки в зоне поворота существенно уменьшаются.

По аналогии для скребкового конвейера усилия на борта будут также высокими, и они распределяются на зоны контакта. Как оказалось, получить методику расчета давления в зоне поворота для скребкового конвейера проще даже с учетом динамики движения конвейера и колебательных процессов, имеющих в системе [24]. Эти методы, основанные на простых алгоритмах линеаризации уравнений динамики [25, 26], получили в последние годы широкое распространение в авиапромышленности и робототехнике [27–29], для проектирования машин сельского хозяйства [30], а также могут использоваться для получения моделей контроля автоматизированной работы конвейеров (рис. 4). Уравнения движения приведены для трех скребков. Для остальных они составляются так же. Полный поворот на 90° осуществляется на шести решетках с доворотом каждого на угол $d\Delta$. В (1), (3) описывается поступательное движение в пределах решетки (рис. 4, а, б), а в (2) учитываем, что средний скребок длиной R при переходе зоны соединения двух решеток дополнительно совершает вращение на этот же угол. Это приводит к центробежной силе – последнее слагаемое в уравнении (2), т. е. в момент перехода с решетки на решетку возникает резкое изменение направления действия сил и дополнительное вращательное движение скребка:

$$Ft_i - Ftr_{li} - Ftr_{pi} - Fs_i - \frac{d^2x}{dt^2}(m_s + m_g + m_z) = 0; \quad (1)$$

$$\cos\left(\frac{d\Delta}{2}\right)(Ft_{i+1} - Ftr_{li+1} - Ftr_{pi+1}) - Fs_{i+1} - \frac{d^2x}{dt^2}(m_s + m_g + m_z) - \frac{(m_s + m_g + m_z)}{R} \frac{dx}{dt} = 0; \quad (2)$$

$$\cos(d\Delta)(Ft_{i+2} - Ftr_{li+2} - Ftr_{pi+2} - Fs_{i+2}) - \frac{d^2x}{dt^2}(m_s + m_g + m_z) = 0. \quad (3)$$

Движение скребка в зоне поворота рассматривается в решении Adams как ползунная и вращательная пара для элементов Link, в которую входят борт конвейера и скребок (рис. 4, в). Основное влияние на величины опорных реакций оказывают силы тяги, массы и моменты инерции конструкции, угол поворота решеток, которые вводятся через окна приложения Adams. Удобство программы и в том, что можно легко менять типы шарниров от двух- до трехмерных с целью уменьшения динамики и устойчивости скребков с учетом колебаний. В программу можно ввести начальную скорость поступательного движения скребка.

Рассмотрено движение 2–12 скребков, соединенных 2–4 звеньями цепи с моделированием связи двух и трехмерными шарнирами вращения. В последнем случае выполняется условие использования круглозвенной цепи, обеспечивающей повороты скребков в 3D пространстве. Начали с

рассмотрения 1–3 скребков. Фиксировали нагрузки в зоне опоры скребков по основным осям, при этом можно получить параметры движения в любой маркированной точке скребков и цепи. В режиме, когда поворот осуществляется на шести решетках (скребки соединяют два звена цепи), надежное конструирование системы вполне осуществимо. Для определения предельных значений рабочих параметров смоделирована ситуация при $d\Delta \geq 30^\circ$. Поэтому для оценки таких аварийных ситуаций приведен график (рис. 4, г). Количество звеньев, соединенных объемными вращательными шарнирами, – четыре. Полученные данные позволяют оценить нагрузки на элементы решеток, возможные поломки и способы их устранения. Как и в случае ленточного конвейера при моделировании имеем несколько вариантов программ, в частности, для учета движения, когда вектор тягового усилия на средний скребок направлен вдоль оси X и когда после поворота он изменится на $d\Delta$. Проверка некоторых результатов на основе стандартных процедур на языке Visual basic на основе приближенных решений подтверждает их достаточную точность. Разработаны методические рекомендации для моделирования таких устройств с учетом геометрии реальных устройств и их силовых параметров (размеры, инерциальные характеристики, сечение, виды шарнирных связей и трение в них). В отличие от обычных скребков они должны быть усилены и иметь достаточную площадь контакта с бортом конвейера, а система боковых шарниров, связывающая секции решеток, должна иметь силовое замыкание, позволяя им поворачиваться влево и вправо при поочередном смыкании и размыкании шарниров. Шаг расстановки скребков будет составлять от 0,3–0,4 м, что чаще более чем в 2 раза, чем в обычных конвейерах. Бронированные скребки должны работать в сложных условиях с учетом возможности обвалов кровли, возникновения негабаритных блоков угля с возможностью их силового разрушения при заштыбовке проходного сечения. В таблице приведены направления технологий, где возможно применение поворотных конвейеров КарГТУ (отмечено значком «+») в сопоставлении с технологиями ф. Жоу, значком «–» – при затруднениях в её использовании. Конструкция ф. Жоу, как следует из вышеизложенного, ограничивает её применение в лавах, не возможна на тонких пластах и при ведении буровзрывных работ (БВР) из-за опасности порыва ленты. Кроме того, как следует из производственного опыта, и при короткозабойной выемке, и в нарезных комплексах в основном применяют скребковые конвейеры.

Выводы

Конструкция конвейера защищена патентами евразийской организации ЕАПО (Угловой скребковый конвейер, Евразийский патент № 024900 от 31.10. 2016. Бюллетень № 7, 2015) и РК. Исследования позволяют создать основы проектирования

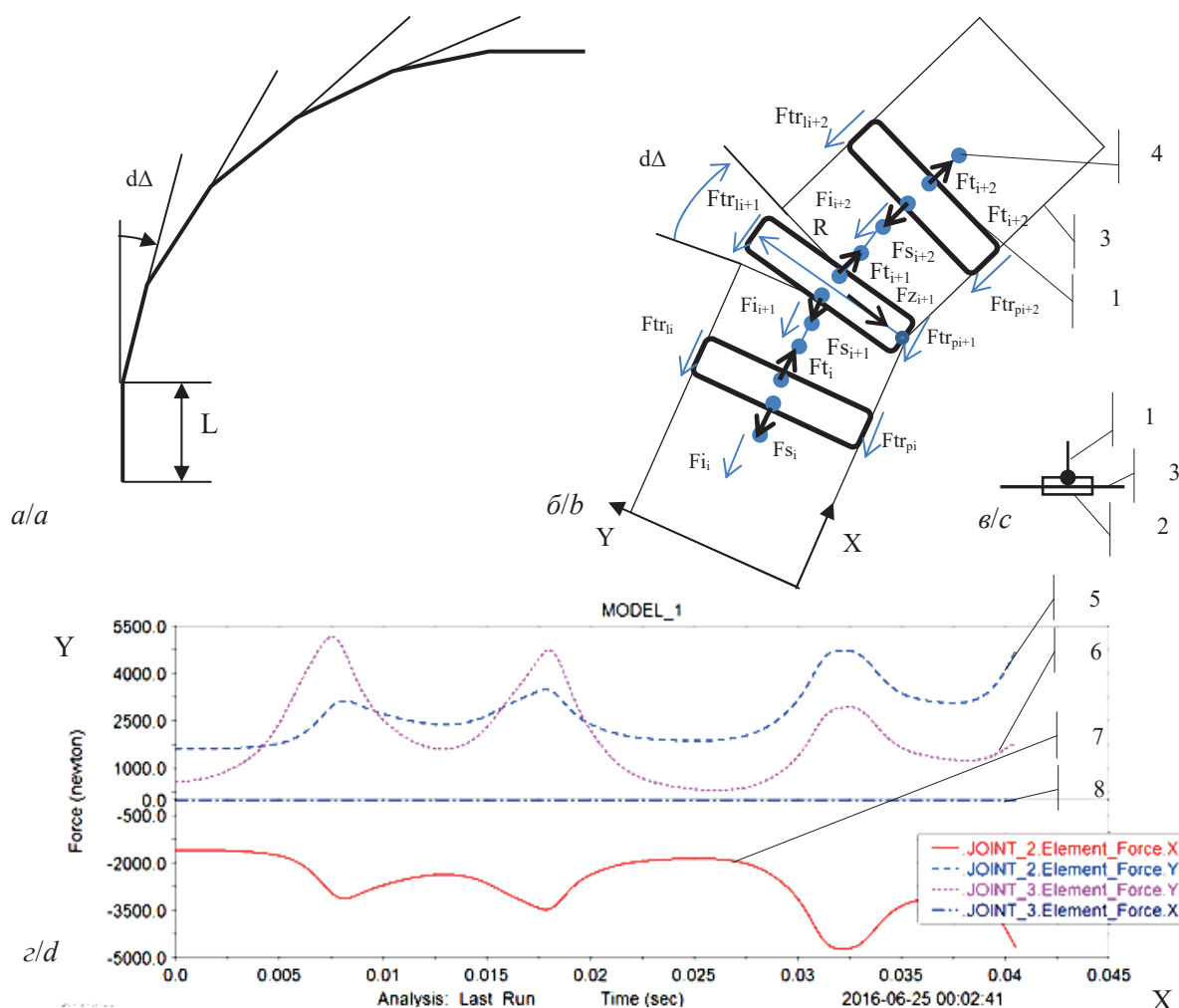


Рис. 4. Схемы расчета и усилия в опорных зонах скребков и рештаков: а) зона поворота ($d\Delta$ – поворот одного рештака длиной L); б) поступательные движения крайних и вращательное среднего скребка – 1 относительно бортов – 3; F_t , F_{tr} , F_s , F_i – силы тяги, трения, сопротивления, инерции скребков i , $i+1$, $i+2$; F_z – центробежная сила на скребке $i+1$; в) поступательная (2, 3) и вращательная (1, 2) пары у ближнего к ЦП борта рештака; г) опорные усилия по осям Y и X по нижнему (наклонному) рештаку – 8 (фото с экрана); 5, 7 и 6, 8 – по верхнему (горизонтальному) рештаку (скребки вначале рештаков)

Fig. 4. Schemes of calculation and effort in basic zones of scrapers: а) turn zone ($d\Delta$ is the turn of one chute with a length of L); б) rectilinear movement of the first and third scraper, turn of an average scraper – 1; F_t , F_{tr} , F_s , F_i – tensile forces, friction, resistance, inertia of scrapers i , $i+1$, $i+2$; F_z is the centrifugal force on $i+1$ scraper; в) rectilinear (2, 3) and rotational (1, 2) couples of chute closest to the center of turn; г) basic efforts on axes (Y , X) on the first chute – 8; 5, 7 and 6, 8 – on the third chute (scrapers in the beginning chute)

и контроля работы скребкового и ленточного конвейеров с разнесенными поворотными шарнирами (рис. 5, ж) и выбрать оптимальную конструкцию скребкового конвейера с одно- и двухцепным приводом. Созданные 3D-модели представляют текущее состояние нагруженности основных элементов конвейеров, что необходимо в системе обратной связи для автоматизированного управления объектом в постоянно изменяющихся технологических условиях и предотвращения аварийных ситуаций. Созданы базовые технологии выемки с применением очистного оборудования и скребкового поворотного конвейера, который может не терять работоспособность в самых сложных условиях при зава-

лах очистных и проходческих забоев и частичном применении буровзрывных работ и сможет «распечатывать» завалы даже в условиях резкого изменения температурного режима (рис. 5, а, в). Базовая технология предполагает набор групп технологических схем в соответствии с условиями обрабатываемого участка и ожидаемого горного давления. В ней предусматривается использование оконтуривающих целиков, опор, возводимых из закладочной смеси (в зависимости от состояния забоя), предварительная дегазация участка за счет скважин, применение в качестве крепления стационарно-переносной и анкерной крепи или группы роботизированных секций крепи. При этом ра-

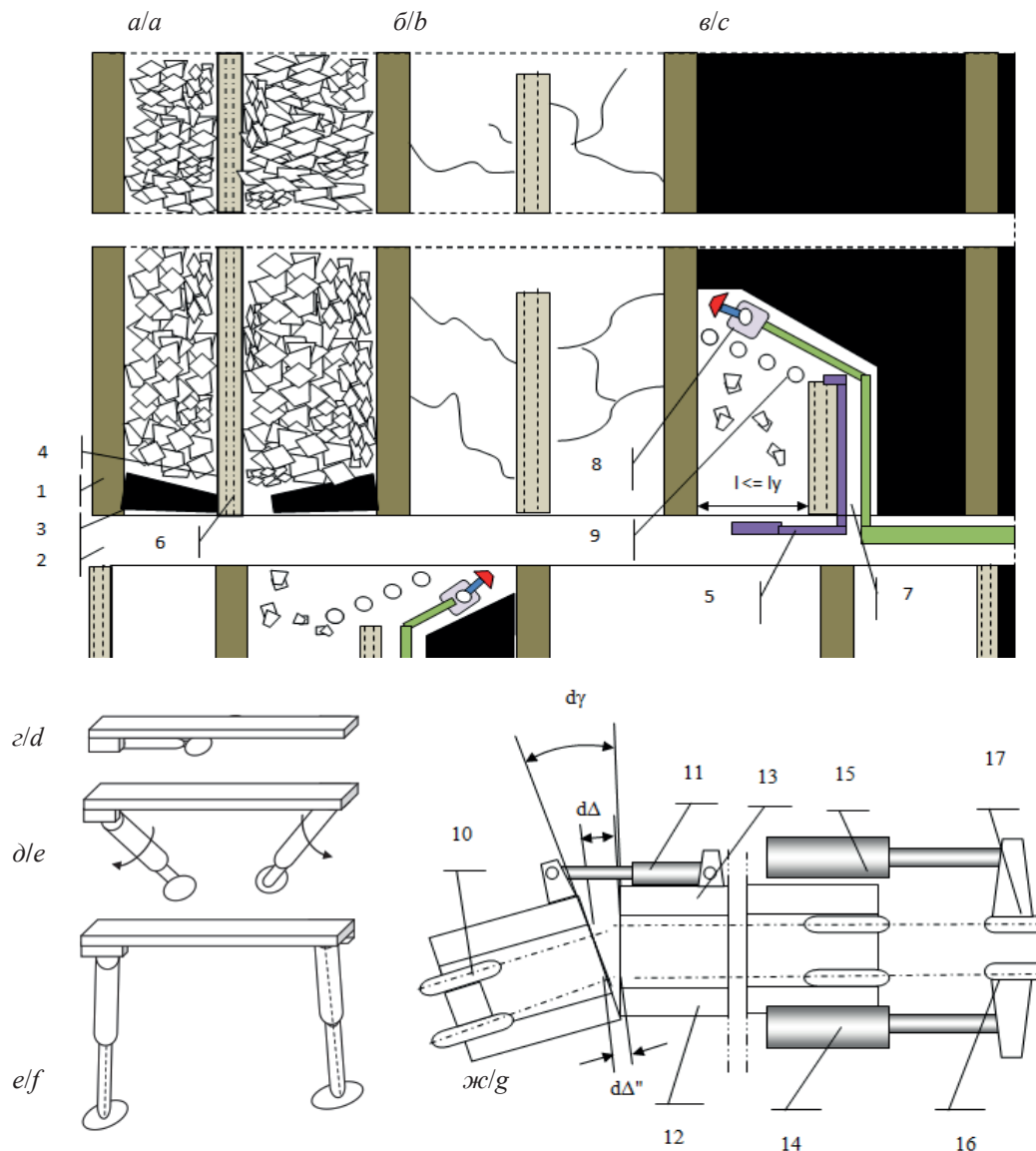


Рис. 5. Базовая схема выемки пласта: а, б) обрушение кровли над отработанными зонами; в) зона работ; 1 – оконтуривающие целики; 2 – транспортная выработка; 3, 4 – охранные целики; 5 – закладочная машина; 6 – центральная опора; 7 – главная выработка забоя; 8 – комбайн с поворотным конвейером; 9 – крепь забоя; г, д, е) крепь в сложенном при возведении и в рабочем виде; ж) скребковый поворотный конвейер: 10 – звездочки; $d\Delta''$, $d\Delta$, dy – линейные и угловое смещения между решетками; 11 – элементы смыкания и замыкания шарниров; 12, 13 – борта решеток; 14, 15 – гидроцилиндры натяжения цепи; 16, 17 – концевые звездочки

Fig. 5. Basic scheme of dredging the layer of minerals: а, б) gradual collapse of a roof in the fulfilled cavities; в) zone of works; 1 is the natural or artificial contouring main support; 2 is the board for transportation; 3, 4 is the natural security support of the main development; 5 is the stowage combine; 6 is the natural or artificial central support; 7 is the main board of a face; 8 is the combine with the rotary conveyor; 9 is the face timbering; г, д, е) timbering in folded form, at installation and in a working look; ж) scraper rotary conveyor: 10 are the forward asterisks; $d\Delta''$, $d\Delta$, dy are the linear and angular movements between chutes; 11 are the elements of compulsory connection and disconnection of rotary hinges; 12, 13 are the sides of a chute; 14, 15 are the hydraulic cylinders of chain tension; 16, 17 are the back asterisks

бота осуществляется в режиме обратной связи с горным массивом с системой управляющих программ технологического и геомеханического состояния. Будет обеспечена эффективная выемка сложно залегающих пластов с их дегазацией [31]; разработка таких схем интенсивно ведется в КарГТУ и ей особенно способствует камерная технология [32]. Конструкция обеспечивает поточность

транспортирования многих короткозабойных технологических решений и уменьшает количество пунктов перегрузки в криволинейных выработках, а схема выемки тонких пластов не имеет альтернатив из-за большой высоты ленточного конвейера ф. Жоу. Расширяются области использования поворотных конвейеров и в лавах, и при добыче руд с БВР. Созданы условия вовлечения в добы-

Таблица. Возможные схемы применения

Table. Possible schemes of application

Технологии Techniques		Безопасное использование/Safe use				Применение в возможных технологиях Application in possible technologies	
		Ленточный/Tape		Скребковый Scraper			
		Руды Ores	Пласты Layers	Руды Ores	Пласты Layers	Ленточный Tape	Скребковый Scraper
Камеры с буровзрывными работами Chambers with drilling-and-blasting works		–		+		–	+ Подземные и открыто-подземные Underground and open and underground
Короткие забой Short faces	Тонкие жилы и пласты Ore veins and layers	–		+		–	+ Подземные Underground
	Средней мощности и более Average thickness and above	+	+ ф. Joy (глубина до 200 м) Joy c. (depth is up to 200 m)	+		Подземные, глубина до 200 м Underground, depth is up to 200 m	
Лавы/Face		–	–	+		–	+ Подземные Underground
Криволинейные выработки и штреки с поворотом до 45° с обычной лентой Curvilinear entry with 45° turn, with a routine tape		+ Секции с разнесенными шарнирами (КарГТУ) Sections with the carried hinges (KSTU)		–		Открытые и подземные Open and underground	–

чу сложно залегающих месторождений на рудных и пластовых месторождениях твердых минералов, в т. ч. целиковые и забалансовые участки, запасы которых составляют не менее 50 % от существующих. Эти системы на пластовых месторождениях требуют в 2–3 меньше первоначальных затрат, чем лавные технологии [5], и существенно эффективнее циклично-поточного транспорта, применявшегося ранее.

Заключение

Технология комплексного использования недр особенно эффективна при камерных системах выемки. Для их реализации необходима система транспорта с поворотом направления грузового потока на 90° в любой зоне става конвейера. Исследования показали, что для ленточных и скребковых конвейеров в зоне поворота возникают большие поперечные усилия, зависящие от длины транспортирования и коэффициента трения. Они распределяются по бортам конвейера и в основном приложены к ближнему к ЦП борту. Распределение опорного усилия определяется величиной шага установки боковых роликов ленточного или скребкового конвейера. Впервые промышленное использование своей конструкции выполнено ф. «Joy», США, в начале 2000 г. Нами установлено, что особенностями расчета ленты является необходимость её предварительного натяжения с целью ликвидации излишнего волнообразного вспучивания ленты. Исследования контактирования ленты с бортом конвейера на основе сеточного моделирования позволяет рассчитать боковую нагрузку и параметры ленты. НДС ленты таково, что

в первую очередь следует предотвращать возникновение трещин в зоне растяжения. Условия технологических возможностей РК ограничивают применение комбинированной ленты для очистных забоев, применение традиционных возможно в криволинейных выработках (кроме лав) с углом поворота до 45°. В условиях очистных забоев более эффективен скребковый конвейер. Его расчет и изготовление проще, а размеры по вертикали в 1,2–1,3 раза меньше, чем для ленточного конвейера. Исследователями КарГТУ, Гипроуглемаш, КНИУИ создана методика расчета и конструкция скребкового конвейера. В пакете Adams авторами построена имитационная модель и получены основные параметры скребков, опорных усилий и шаг их установки. Секции конвейера поворачиваются друг относительно друга с помощью шарниров, установленных у бортов рештаков, с возможностью их силового размыкания и смыкания. Данные конструктивные принципы конвейера и его применение в базовой короткозабойной технологической схеме разработки. Они защищены евразийским и казахстанским патентами. Прочность конструкции выше, чем у ленточного конвейера, поэтому её можно применить и для разработки руд с буровзрывной отбойкой полезного ископаемого. Технология дегазации и газификации шахт широко разрабатывается в РК, но она особенно эффективна при камерной выемке.

Исследование выполнено по теме АР05134441 «Разработка, изготовление и испытание новой конструкции поворотного узла конвейера с поворотом грузопотока на угол до 90 градусов в плоскости почвы выработки для систем забойной выемки и криволинейных выработок».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрейко С.С., Перминов К.М. Разработка технологии добычи калийной руды с применением изгибающегося конвейерного поезда // Известия вузов. Горный журнал. – 2013. – № 3. – С. 4–9.
2. Mining methods and equipment. United States Patent № US 8,770,667 B1. Declared. Aug. 2, 2013, publ. Jul. 8, 2014. URL: <http://www.uspto.gov/> (дата обращения 10.01.2018).
3. Кулешов В.Г. Определение радиуса кривизны изгибающегося ленточного конвейера с поворотным устройством // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – № 5. – С. 224–227.
4. Алотин Л.М., Степанов П.Б. Моделирование и расчет транспортных систем горных предприятий. – Алма-Ата: «Наука» КазССР, 1979. – 214 с.
5. Бейсембаев К.М. Универсализация технологий разработки пластовых месторождений // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 5. – Ч. 1. – С. 126–131.
6. Кожушко Г.Г., Лукашук О.А. Расчет и проектирование ленточных конвейеров. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 232 с.
7. Шманов М.Н., Бейсембаев К.М. Приоритетные направления развития крепей для короткозабойных технологий // Уголь. – 1992. – № 8. – С. 37–39.
8. Фербер Э.С., Фетисов И.И., Шульгин В.А. Исследование одноцепного углового забойного конвейера // Механизация и автоматизация горных работ. – Алма-Ата: Казахстан, 1975. – С. 115–124.
9. Старков Л.И., Земсков А.Н., Кондрашев П.И. Развитие механизированной разработки калийных руд. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2007. – 522 с.
10. FE model for linear-elastic mixed mode loading: estimation of SIFs and crack propagation / A. Boulouvar, N. Bensaddiq, M. Mazari, N. Benamara // Journal of Theoretical and Applied Mechanics. – 2014. – V. 52 (2). – № 7. – P. 373–383.
11. Sadam Houcine Habib, Idir Belaidi. Crack analysis in bimaterial interfaces using t-spline based xiga // Journal of Theoretical and Applied Mechanics. – 2017. – V. 55. – № 1. – P. 55–65.
12. Bhardwaj G., Singh I. Fatigue crack growth analysis of a homogeneous plate in the presence of multiple defects using extended isogeometric // Mechanical Sciences and Engineering. – 2015. – V. 37. – № 4. – P. 1065–1082.
13. Alshoaibi M.A. Finite element modeling of mixed mode crack propagation // International Journal of Soft Computing and Engineering™. – 2015. – V. 5. – № 5. – P. 61–66.
14. Решение контактных задач в Ansys 6.1. 2003. URL: <http://iamdrunk.ru/teach/%D0%A3%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8/ANSYS/%D0%A0%D0%B5%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B2%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BD%D1%8B%D1%85%D0%B7%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%87%D0%B2%20ANSYS%206.1.2003.pdf> (дата обращения 22.11.2017).
15. Контактные задачи в Ansys Workbench. 2014. URL: <http://studblog.tmm-sapr.org/2014/01/ansys-workbench-140.html> (дата обращения 22.11.2017).
16. Поворотный ленточный конвейер. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=UjOJymzm10I> (дата обращения 22.11.2017).
17. 3d-моделирование разработки пластовых ископаемых / Г.С. Жетесова, К.М. Бейсембаев, А. Мадиханова, Г.Ж. Жунусбекова, А.Е. Окимбаева // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 6. – С. 144–149.
18. Исследование состояния горного массива при подвигании лавы / К.М. Бейсембаев, Ю.А. Векслер, С.С. Жетесов, Н. Каппасов, К.К. Мендикунов // Известия высших учебных заведений Горный журнал. – 2013. – № 3. – С. 69–76.
19. Dodagoudar G.R., Rao B.N., Sunitha N.V. A mesh free method for beams on elastic foundation // International Journal of Geotechnical Engineering. – 2015. – V. 9. – № 5. – P. 298–306.
20. Конюхов А.В. Основы анализа конструкций в ANSYS. – Казань: Изд-во Казанского государственного университета, 2001. – 108 с.
21. Łazuka E., Łazuka M. Application of Ansys in teaching fem on the example of a loaded mars rover chassis // Advances in Science and Technology Research Journal. – 2016. – V. 10. – № 32. – P. 269–274.
22. Нургожин М.Р., Даненова Г. Инженерные задачи в ANSYS. – Караганда: Изд-во КартГТУ, 2006. – С. 221–236.
23. Xiangjun Jiang, Baotong Li. Finite element analysis of a superelastic shape memory alloy considering the effect of plasticity // Journal of Theoretical and Applied Mechanics. – 2017. – V. 55. – № 4. – P. 1355–1368.
24. Поляков К.А. Создание виртуальных моделей в пакете прикладных программ Adams. – Саратов: Изд-во Самарского государственного университета, 2003. – 89 с.
25. Ashok K.J., Partha P.R. Modeling and Simulation of SCORER14 Robot in ADAMS Platform // International Journal of Engineering and Technical Research. – 2014, July. – V. 2. – P. 105–109.
26. Filippone A. Flight Performance of Fixed and Rotary Wing Aircraft. – Great Britain: Elsevier, 2006. – 565 p.
27. Talli A.L., Kotturshettar B.B. Forward Kinematic Analysis, Simulation & Workspace Tracing of Anthropomorphic Robot Manipulator by Using MSC // ADAMS. – 2015. – V. 4. – № 1. – P. 18462–18468.
28. 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. – № 1. – P. 17–20.
29. Ilango Mahalingam, Chandramouli Padmanabhan. Planar multi-body dynamics of a tracked Vehicle using Imaginary Wheel model for tracks // Defence Science Journal. – 2017. – V. 67. – № 4, July. – P. 460–464.
30. Janarthanan B., Padmanabhan C., Sujatha C. Longitudinal dynamics of a tracked vehicle: Simulation and experiment // Journal of Terramechanics. – 2012. – V. 49. – № 2. – P. 63–72.
31. Coal bed methane of Karaganda basin in the gas balance of the Republic of Kazakhstan: Status and prospects / N.A. Drizhd, R.K. Kamarov, D.R. Akhmaturov, N.M. Zamaliyev, I.M. Shmidt-Fedotova // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2017. – № 1. – P. 12–19.
32. К разработке новых машинотехнологических систем и их моделей / К.М. Бейсембаев, С.А. Жакенов, С.С. Жетесов, И.Н. Демищук, М.Н. Шманов, И.Д. Тир, Н.С. Малыбаев // Уголь. – 2011. – № 4. – С. 69–71.

Поступила 31.03.2018 г.

Информация об авторах

Жетесова Г.С., доктор технических наук, проректор по стратегическому развитию Карагандинского государственного технического университета.

Бейсембаев К.М., доктор технических наук, доцент кафедры технологического оборудования, машиностроения и стандартизации Карагандинского государственного технического университета.

Малыбаев Н.С., кандидат технических наук, доцент кафедры технологического оборудования, машиностроения и стандартизации Карагандинского государственного технического университета.

Юрченко В.В., PhD, заведующий кафедрой технологического оборудования, машиностроения и стандартизации Карагандинского государственного технического университета, Казахстан.

Шманов М.Н., кандидат технических наук, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых Карагандинского государственного технического университета.

UDC 622.014.2:658.513.011.56:681.3.001.57

DEVELOPMENT OF THE BASIC TECHNOLOGY OF MINING PRODUCTION WITH 90° CONVEYOR SWING

Gulnara S. Zhetesova¹,
zhetesova@mail.ru

Kakim M. Beysembayev¹,
kakim08@mail.ru

Nurlan S. Malybayev¹,
malybaev@yandex.ru

Vasily V. Yurchenko¹,
juvv76@mail.ru

Makhambet N. Shmanov¹,
shmanovm@mail.ru

¹ Karaganda State Technical University,
56, Mira Boulevard, Karaganda, 1000012, Kazakhstan.

The relevance of work is caused by the rise in price of dredging the layers of solid minerals at underground production. Use of more productive and effective technologies is restrained by the lack of cyclic transportation of the extracted minerals. For the first time industrial use of the design is executed by the Joy Company in the USA in the beginning of the 21st century. The rotary tape conveyor had big dimensions and was difficult-to-make.

The aim of the research is to analyze the models, study the parameters and design a new conveyor; develop the elements of a technique for its calculation, and basic technologies of dredging by short faces taking into account the experience of designing similar technology in Karaganda.

Object of the research is the technology of dredging the layers of solid minerals at underground production.

Methods. Without sufficient publications and for ensuring patenting of a design, during about 40 years the system analysis of rotary conveyors (up to 90 degrees), technologies of dredging the layers of solid minerals, techniques of their modeling were carried out. The researches were carried out based on a finite element method (Ansys package) and linearization of the equations of dynamics in Adams considering the deformation features of moving elements of a construction and scrapers; the general features of operation of conveyors of both types are revealed.

Results. The tests have revealed the protrusion of a tape, great efforts to the lateral faces of sections of the conveyor and their divergence in a turn zone. The latter is characteristic as well for the scrapers conveyor. The technique developed allows determining the key parameters of conveyors, friction coefficient, nonlinear interaction of a tape with lateral faces, allows calculating pressure upon lateral faces and parameters of a tape. Generally such systems are applied to chamber dredging of layers and will allow providing multiple use of a bowels of the earth. It is established that in these conditions the scrapers conveyor is more effective and safe. Its model operation, calculation and manufacture are simpler, and the size is in 1,2–1,3 times less than this of bold conveyers. In the Adams package the model for conveyor turn imitation is constructed and the key parameters of scrapers: step of their installation, effort of contact with sides, are obtained. Sections of the conveyor can turn by means of hinges, one of which is connected to the left-hand side of the conveyor, and another one at this moment is disconnected with the right side. The paper introduces the basic technological scheme of dredging the minerals by a short face with the use of such conveyor. They are protected by the Eurasian and Kazakhstan patents and they will provide the efficient dredging of the minerals lying in the composite conditions and will promote extraction of gas from layers and multiple (complex) use of bowels of the earth; will reduce in 2–3 times the tentative cost of works. The durability of the new device will be higher, than that of the belt conveyor therefore it can be applied to exploration of ores, with use of drilling-and-blasting works. Reliability of the conveyor will be provided even at the critical condition of a face.

Key words:

Complex use, turn, model, calculation, contact, Ansys, Adams, hard-to-recover reserves.

The research was carried out on the subject AP05134441 «Development, manufacturing and testing of a new design of the turntable assembly of the conveyor with a turn of the cargo flow at an angle of up to 90 degrees in the plane of the working soil for the chamber cavity and curved mines».

REFERENCES

1. Andreyko S.S., Perminov K.M. Developing the technology of extracting potash ore using a bending conveyor train. *HEIs Bull., Mining Journal*, 2013, no. 3, pp. 4–9. In Rus.
2. Myers T.J., Cline M., Dickinson J. *Mining methods and equipment*. United States Patent No. US 8,770,667 B1, 2014. Available at: <http://www.uspto.gov/> (accessed 10 January 2018).
3. Kuleshov V.G. Opredelenie radiusa krivizny izgibayushchegosya lentchnogo konveyera s povorotnym ustroystvom [Determining the radius of curvature of a bending belt conveyor with a rotary device]. *Mining Information-Analytical Bulletin*, 2006, no. 5, pp. 224–227.
4. Alotin L.M., Stepanov P.B. *Modelirovanie i raschet transportnykh sistem gornyykh predpriyatiy* [Simulation and calculation of transport systems of mining enterprises]. Alma-Ata, Nauka KazSSR Publ., 1979. 214 p.
5. Beysembayev K.M. Universalization of technologies for developing reservoir deposits. *Success of Present Day Natural Science*, 2014, vol. 5, P. 1, pp. 126–131. In Rus.

6. Kozhushko G.G., Lukashuk O.A. *Raschet i proektirovanie lentochnykh konveyerov* [Calculation and design of conveyor belts]. Ekaterinburg, Ural. University Publ., 2016. 232 p.
7. Shmanov M.N., Beysembaev K.M. Prioritetnye napravleniya razvitiya krepey dlya korotkozaobnykh technology [Priority directions of developing support for short-cut technologies]. *Coal*, 1992, no. 8, pp. 37–39.
8. Ferber E.S., Fetisov I.I., Shulgin V.A. Issledovanie odnotsepnogo uglovogo zaobnykh konveyera [Investigation of one-chain angular face conveyor]. *Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya gornyykh rabot* [Mining mechanization and automation]. Alma-Ata, Kazakhstan Publ., 1975. pp. 115–124.
9. Starkov L.I., Zemskov A.N., Kondrashev P.I. *Razvitiye mekhanizirovannoy razrabotki kaliynykh rud* [Development of mechanized development of potash ores]. Perm, PGU Publ. 2007. 522 p.
10. Boulouar A., Benseddik N., Mazari M., Benamara N. FE model for linear-elastic mixed mode loading: estimation of SIFs and crack propagation. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 2014 vol. 52 (2), no. 7, pp. 373–383.
11. Sadam Houcine Habib, Idir Belaidi. Crack analysis in bimaterial interfaces using t-spline based xiga. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 2017, vol. 55, no. 1, pp. 55–65.
12. Bhardwaj G., Singh I. Fatigue crack growth analysis of a homogeneous plate in the presence of multiple defects using extended isogeometric. *Mechanical Sciences and Engineering*, 2015, vol. 37, no. 4, pp. 1065–1082.
13. Alshoaibi M.A. Finite element modeling of mixed mode crack propagation. *International Journal of Soft Computing and Engineering*™, 2015, vol. 5, no. 5, pp. 61–66.
14. *Reshenie kontaktnykh zadach v Ansys 6.1. 2003* [Solution of contact tasks in Ansys 6.1.] Available at: <http://iamdrunk.ru/teach/%D0%A3%D1%87%D0%B5%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8/ANSYS/%D0%A0%D0%B5%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%82%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BD%D1%8B%D1%85%20%D0%B7%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%87%20%D0%B2%20ANSYS%206.1.2003.pdf> (accessed 22 November 2017).
15. *Kontaktnye zadachi v Ansys Workbench. 2014* [Contact tasks in Ansys Workbench. 2014]. Available at: <http://studdblog.tmm-sapr.org/2014/01/ansys-workbench-140.html> (accessed 22 November 2017).
16. *Povorotny lentochny konveyer* [Rotary belt conveyor]. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=UjOJymzm10I> (accessed 22 November 2017).
17. Zhetessova G.S., Beysembaev K.M., Madikhanova A., Zhunusbekova G.Zh., Okimbaeva A.E. 3D modeling of development of reservoir fossils. *Success of Present Day Natural Science*, 2016, no. 6, pp. 144–149. In Rus.
18. Beysembaev K.M., Veksler Yu.A., Zhetessov S.S., Kappasov N., Mendikenov K.K. Studying the state of the rock mass while moving the lava. *HEIs Bull., Mining Journal*, 2013, no. 3, pp. 69–76. In Rus.
19. Dodagoudar G.R., Rao B.N., Sunitha N.V. A mesh free method for beams on elastic foundation. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 2015, vol. 9, no. 5, pp. 298–306.
20. Konyukhov A.V. *Osnovy analiza konstruktiv v ANSYS* [Fundamentals of design analysis in ANSYS]. Kazan, Kazan State University Press, 2001. 108 p.
21. Lazuka E., Lazuka M. Application of Ansys in teaching fem on the example of a loaded mars rover chassis. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 2016, vol. 10, no. 32, pp. 269–274.
22. Nurgozhin M.R., Danenova G. *Inzhenernye zadachi v Ansys* [Engineering tasks in Ansys]. Karaganda, KarGTU Publ., 2006. 311 p.
23. Xiangjun Jiang, Baotong Li Finite element analysis of a superelastic shape memory alloy considering the effect of plasticity. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 2017, vol. 55, no. 4, pp. 1355–1368.
24. Polyakov K.A. *Sozdanie virtualnykh modeley v pakete prikladnykh programm Adams* [Making virtual models in the Adams software package]. Saratov, Samara state University Publ., 2003. 89 p.
25. Filippone A. *Flight Performance of Fixed and Rotary Wing Aircraft*. Great Britain, Elsevier, 2006. 565 p.
26. Ashok K.J., Partha P.R. Modeling and Simulation of SCORER14 Robot in ADAMS Platform. *International Journal of Engineering and Technical Research*, 2014, vol. 2, July, pp. 105–109.
27. Talli A.L., Kotturshettar B.B. Forward Kinematic Analysis, Simulation & Workspace Tracing of Anthropomorphic Robot Manipulator by Using MSC. ADAMS, 2015, vol. 4, no. 1, pp. 18462–18468.
28. 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, vol. 3, no. 1, pp. 17–20.
29. Ilango Mahalingam, Chandramouli Padmanabhan. Planar multi-body dynamics of a tracked Vehicle using Imaginary Wheel model for tracks. *Defence Science Journal*, 2017, vol. 67, no. 4, July, pp. 460–464.
30. Janarthanan B., Padmanabhan C., Sujatha C. Longitudinal dynamics of a tracked vehicle: Simulation and experiment. *Journal of Terramechanics*, 2012, vol. 49, no. 2, pp. 63–72.
31. Drizhd N.A., Kamarov R.K., Akhmatnurov D.R., Zamaliyev N.M., Shmidt-Fedotova I.M. Coal bed methane of Karaganda basin in the gas balance of the Republic of Kazakhstan: Status and prospects. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universitetu*, 2017, no. 1, pp. 12–19.
32. Beysembaev K.M., Zhakenov S.A., Zhetessov S.S., Demishuk I.N., Shmanov M.N., Tir I.D., Malybayev N.S. Towards development of new machine-technology systems and their models. *Coal*, 2011, no. 4, pp. 69–71. In Rus.

Received: 31 March 2018.

Information about the authors

Gulnara S. Zhetesova, Dr Sc., Vice-rector, Karaganda State Technical University.

Kakim M. Beysembayev, Dr Sc., associate professor, Karaganda State Technical University.

Nurlan S. Malybayev, Cand. Sc., associate professor, Karaganda State Technical University.

Vasily V. Yurchenko, PhD, head of the department, Karaganda State Technical University.

Makhambet N. Shmanov, Cand. Sc., associate professor, Karaganda State Technical University.