

УДК 621.867.2

А.И. Кириченко, А.Н. Картавый

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ КРУТОНАКЛОННЫХ КОНВЕЙЕРОВ С ПРИЖИМНОЙ ЛЕНТОЙ

Приведены основные проблемы создания крутонаклонных конвейеров с прижимной лентой на примере конвейера для карьера «Мурунтау» (Навоийский ГМК, Узбекистан).
Ключевые слова: крутонаклонный конвейер с прижимной лентой, технические характеристики, конструктивные особенности, научно-технические проблемы.

В 2009 г. ЗАО «НКМЗ» (Краматорск, Украина) была завершена многолетняя работа по созданию уникального не имеющего аналогов в мире крутонаклонного конвейера с прижимной лентой (КНК-270) по заказу Навоийского ГМК (Узбекистан). Изготовленный заводом конвейер отправлен на карьер «Мурунтау» этого комбината для опробования, отладки и последующей эксплуатации в составе транспортного комплекса оборудования циклично-поточной технологии транспортирования ЦПТ-руда [1]. КНК-270 – основа комплекса – связывает загрузочный пункт (рис. 1), смонтированный в карьере, с расположенным на его поверхности складским конвейером, транспортирующим золотосодержащую руду на промежуточный склад или в думпкары для перемещения ее на последующую переработку.

При успешном вводе КНК-270 в эксплуатацию и положительных показателях его работы открывается новый этап в развитии горнотранспортных комплексов и ЦПТ на карьерах, состоящем в значительном улучшении их технико-экономических показателей и экономической целесообразности увеличения глубины карьеров.

Конвейер КНК-270 уникален по своим показателям, оригинальности конструктивной схемы и конструкции узлов. По показателям он превосходит наиболее мощный двухленточный КНК, созданный «Continental Conveyor & Equipment Company» (США) и эксплуатировавшийся на медном руднике Majdanpek (Югославия).

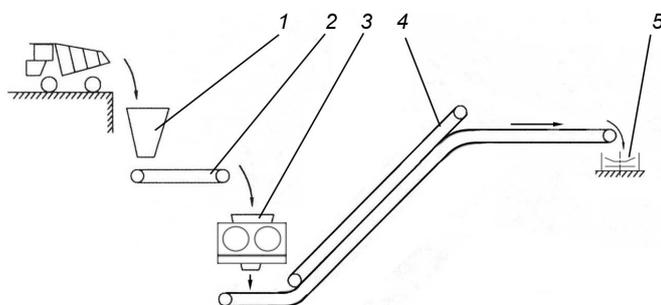


Рис. 1. Технологическая схема ЦПТ с КНК-270 (карьер «Мурунтау», Узбекистан): 1 – бункер, 2 – ленточный питатель, 3 – шнекозубчатая дробилка, 4 – КНК-270, 5 – складской конвейер

Краткая характеристика КНК-270 следующая:

техническая производительность	
по массе, т/ч	3500
по объему, м ³ /ч	2000
эксплуатационная производительность	
суточная, тыс. т	до 53,5
годовая, млн т	16
высота подъема, м	270
угол наклона крутонаклонной части, град	37
ширина лент, мм	2000
скорость лент, м/с	3,15
установленная мощность приводов, кВт	5040 (630x8)
подводимое напряжение, В	6000
транспортируемый материал	скальная порода
гранулометрический состав, мм	0-300 (60%) 300-1200 (38,5%) более 1200 (1,5%)
размер кусков после дробления, мм, не более	300
плотность в целике, т/м ³	2,6
насыпная плотность, т/м ³	1,75
предел прочности на сжатие, МПа	до 250
диапазон температуры воздуха, °С	-28,8...+48,6
максимально допустимая скорость ветра, м/с	25
среднегодовое количество осадков, мм	129
сейсмичность зоны (по 12-бальной шкале), балл.	7
сейсмичность от массовых взрывов в карьере (по 12-бальной шкале), балл.	до 8

Разработка проекта КНК-270 была начата ЗАО «НКМЗ» в 2002 г. выполнением эскизно-технического проекта, а также проведением научно-исследовательской работы по моделированию и расчету КНК сотрудниками МГТУ. При этом учитывались результаты ранее выполненных исследований и разработок институтов УкрНИИпроект, ВНИИПТМАШ, МГИ и других организаций б. СССР, а также доступная информация о разработках КНК фирмой «Continental Conveyor & Equipment Company» и опыт эксплуатации КНК с прижимной лентой на руднике Majdanpek [2].

Создание уникального двухленточного крутонаклонного конвейера, каким является КНК-270, было сопряжено с необходимостью решения новых и сложных научно-технических проблем и задач, в частности: надежное удержание транспортируемого груза между лентами, синхронизация движения лент и снижение их износа, выбор рациональных параметров и эффективных конструктивных схем, обеспечивающих надежное функционирование КНК, и т. п.

Следует отметить возникшие трудности при проектировании КНК-270, вызванные не только уникальностью последнего, но и не ритмичностью финансирования процесса разработки. Это удлинило сроки изготовления конвейера в целом, но значительно сократило их на последнем этапе. При этом завод отказался от необходимых испытаний и исследований новых и сложных узлов в металле на заводских стендах, что является обычным и важным этапом в практике создания горных комплексов.

Кроме того, сотрудникам МГГУ пришлось отказаться от изучения и исследования возникших вопросов в процессе рабочего проектирования в связи с весьма сжатыми сроками выполнения проекта и изготовления комплекса.

КНК-270 выполнен по нестандартной для этого типа конвейеров схеме с горизонтальным участком значительной длины в разгрузочной части. Конвейер условно можно разделить на три части (рис. 2): загрузочную 1 (пологую), крутонаклонную 2 и разгрузочную 3 (горизонтальную). Крутонаклонная часть соединяется с загрузочной и разгрузочной частями плавными переходными участками. На крутонаклонной части конвейера транспортируемый груз зажимается между двумя лентами: грузонесущей 4 и прижимной 5, и удерживается между ними силами трения. Дополнительное к силам тяжести прижатие ленты 5 к ленте 4 осуществляется катками специальных прижимных устройств, расщепленных по длине крутонаклонной части 2 става конвейера. Это дает возможность перемещать груз при углах наклона более 18° . Прижимные усилия создаются пружинами кручения прижимных устройств и могут регулироваться путем закручивания пружин.

Надежное удержание груза между лентами – это первая проблема любого КНК с прижимной лентой. При этом груз не только нужно удерживать от сползания, но и от бокового просыпания между лентами. Последнее должно обеспечиваться размещением груза не по всей ширине грузонесущей ленты, а с оставлением ее краев 4', свободными от груза для плотного прижатия к ним катками краев прижимной ленты. Поэтому сечение транспортируемого потока груза на грузонесущей ленте профилируется специальным устройством (на рис. 2 не показано), располагаемым в загрузочной части 1 КНК-270. Как было установлено стендовыми исследованиями УкрНИИпроекта, боковое просыпание груза особенно вероятно на нижнем переходном участке при запуске груженого КНК, и может потребоваться увеличение прижимных усилий в начале крутонаклонного участка и их регулирование по ширине прижимной ленты [3]. Просыпание груза также возможно при неправильном выборе силовых и геометрических параметров конвейера и в особенности нижнего переходного участка.

В перспективе для крупных КНК необходима также более гибкая система, в идеале дистанционного и автоматического регулирования прижимных усилий в процессе эксплуатации. Это может быть достигнуто заменой пружинного привода пневматическим с установкой на прижимных устройствах вместо пружин пневмодомкратов [4]. При значительном увеличении прижимных усилий – например, в 10 раз – тяговое усилие возрастает всего до 80 % [3].

Принципиальной особенностью конструктивной схемы КНК является наличие двух взаимодействующих через силы трения ленточных контуров (рис. 3) и возможное перераспределение между ними тяговых усилий и потребляемой приводами мощности.

В связи с этим, а также со значительной длиной горизонтального участка грузонесущей ленты на поверхности карьера, усложняется расчет и обоснование напряжений в лентах и выбор мощности электродвигателей приводов.

Кроме того, в разгрузочной части конвейера, поскольку требуется большое натяжение холостой ветви грузонесущей ленты на приводном барабане (более 300 кН), возможно потребуется установка дополнительного натяжного устройства 7.

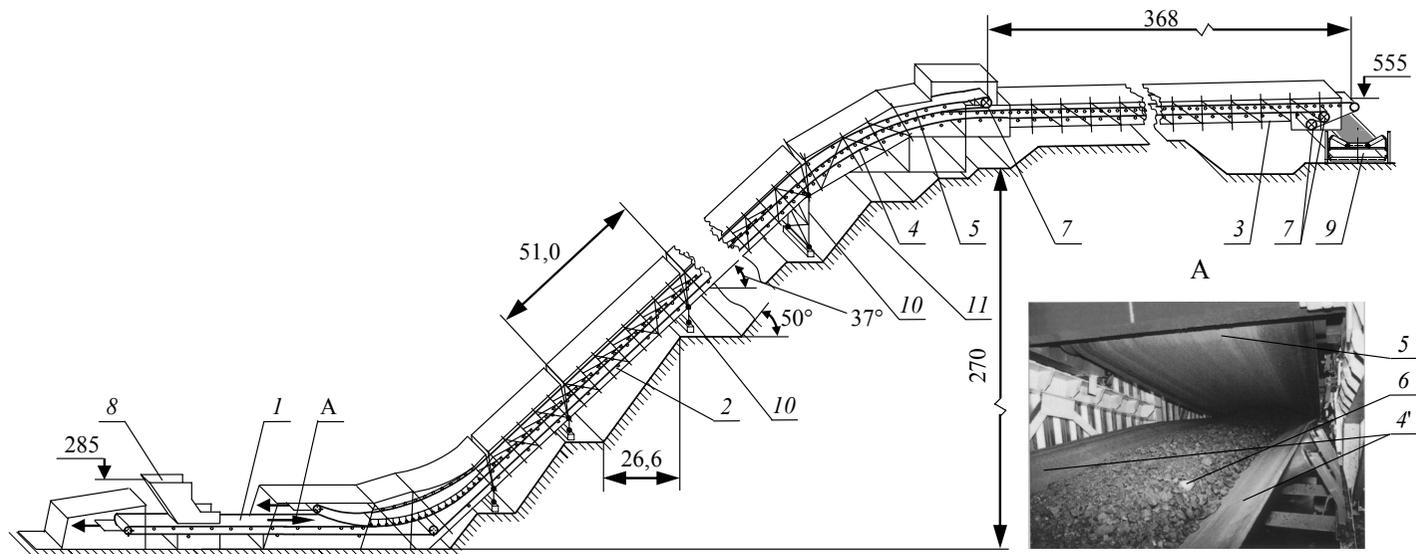


Рис. 2. Схема КНК-270: 1 – загрузочная часть; 2 – крутонаклонная часть; 3 – разгрузочная часть; 4 и 4' – грузонесущая лента и ее края; 5 – прижимная лента; 6 – груз; 7 – приводные барабаны; 8 – загрузочное устройство; 9 – складской конвейер; 10 – опорные стойки; 11 – уступы борта карьера

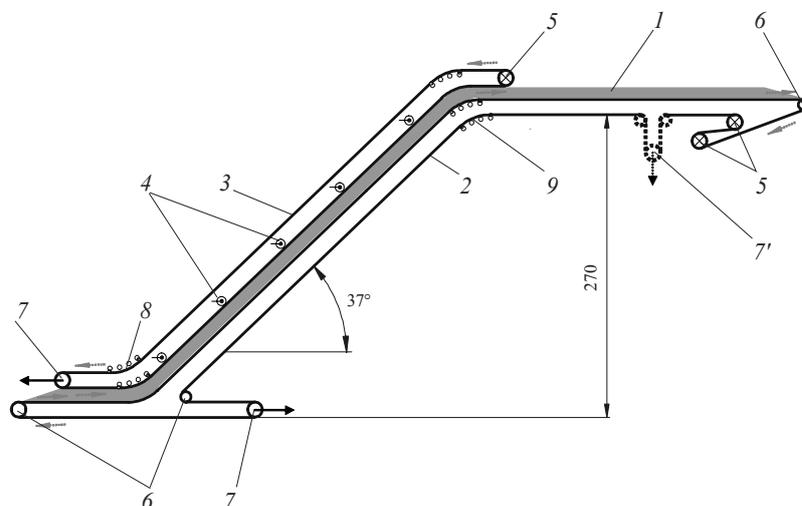


Рис. 3. Принципиальная схема КНК-270: 1 – груз, 2 и 3 – грузонесущая и прижимная ленты, 4 – прижимные устройства, 5 и 6 – приводные и отклоняющие барабаны, 7 и 7' – натяжные устройства, 8 и 9 – нижний и верхний переходные участки

По разработанной в МГТУ расчетной методике [5] с программным обеспечением при различных исходных данных и схемах были просчитаны варианты и необходимые значения тяговых усилий грузонесущей T_1 и прижимной T_2 лент, которые составили соответственно около 70 и 30 % от суммарного тягового усилия. Значения тяговых усилий с учетом выбранных приводных электродвигателей приняты в КНК-270 соответственно 1100 и 520 кН.

Необходимость синхронизации движения грузонесущей и прижимной лент – следующая проблема, возникшая при проектировании этого конвейера. Обеспечение синхронного движения (с одинаковой скоростью) дорогостоящих лент важно для минимизации их износа и стабильного распределения нагрузки между приводами.

Результаты испытаний и эксплуатации КНК с прижимной лентой показывают, что износостойкость гладких конвейерных лент КНК ниже по сравнению с износостойкостью лент стандартных конвейеров. Основной причиной повышенного износа лент КНК, по нашим исследованиям [6], является относительное проскальзывание прижимной и грузонесущей лент и скольжение груза между ними. Наиболее вероятно проскальзывание прижимной ленты относительно груза и бортов грузонесущей ленты, т. к. силы трения между грузом и грузонесущей лентой больше, чем между грузом и прижимной лентой.

Относительное проскальзывание лент влияет не только на их износ, но и на распределение нагрузки между лентами и, следовательно, между их приводами. Проскальзывание может происходить только в начальной и концевой частях крутонаклонного участка или по всей его длине. Кроме того, в связи с движением лент с грузом по криволинейным траекториям на переходных участках проскальзывание также обусловлено неравенством радиусов переходных кривых прижимной и грузонесущей лент, в результате чего происходит дополнительное шевеление груза и его сдвигание между слоями.

На проскальзывание влияет режим работы конвейера. В установившемся режиме работы относительное проскальзывание увеличивает износ лент, особенно прижимной, и влияет на распределение тяговых усилий. При запуске и торможении конвейера износ лент от проскальзывания меньше, т. к. оно имеет место кратковременно, но в большей степени сказывается на распределении нагрузок между приводами ленточных контуров.

Относительное проскальзывание лент и груза на крутонаклонной части КНК неизбежно, т. к. заложено в конструктивной схеме. Однако его параметры и влияние на износ лент и перераспределение нагрузок между ними может быть сведено к минимуму выбором рациональных параметров КНК. Установлено, что при реальных коэффициентах продольной жесткости грузонесущей c_1 и прижимной c_2 лент и тяговых усилий в них должно соблюдаться равенство отношений, при котором достигаются минимальные параметры проскальзывания:

$$\frac{L_2 c_1}{L_1 c_2} = \frac{S_1}{S_2}, \quad (1)$$

где L_1 и L_2 – длины отрезков грузонесущей и прижимной лент между их приводами и концом взаимодействия лент между собой на крутонаклонном участке, S_1 и S_2 – натяжения лент в конце их взаимодействия.

Таким образом, минимизировать величину относительного проскальзывания в разгрузочной части КНК удастся, если длины свободных участков будут примерно равными ($L_1 \approx L_2$) при расчетном соотношении натяжений для КНК-270 и принятых прочностей лент:

$$\frac{c_1}{c_2} = \frac{S_1}{S_2}. \quad (2)$$

Эти равенства требуют размещения приводов контуров друг над другом. Двухэтажные конструкции приводных станций были реализованы в конструкциях двухленточных КНК фирмы «Continental Conveyor & Equipment Company». Так как отношение c_1 / c_2 постоянно, а отношение S_1 / S_2 варьируется при работе конвейера в связи с изменением его производительности, то относительное проскальзывание лент КНК-270 на крутонаклонной части конвейера избежать не представляется возможным.

Рекомендуемые отношения параметров не учитывают разброс жесткостей рабочих участков механических характеристик электродвигателей и отклонения в диаметрах приводных барабанов. Однако проведенные исследования показали, что эти факторы незначительно сказываются на параметрах проскальзывания лент по сравнению с влиянием их жесткостей c_1 и c_2 длин свободных участков лент L_1 и L_2 .

При выбранной заказчиком схеме КНК-270 с горизонтальным участком длиной 368 м на поверхности карьера следует ожидать относительное проскальзывание лент по всей длине его крутонаклонной части и большего износа лент, особенно прижимной, чем, например, на КНК, работавшем на руднике Majdanpek.

Скорости относительного проскальзывания лент измеряются миллиметрами в секунду, а путь проскальзывания – десятками метров за час работы КНК. Од-

нако, учитывая длительность его работы, скольжение лент по поверхности кусков угловатой формы и абразивность транспортируемой скальной породы, существенно увеличится износ лент и сократится срок их службы в сравнении с лентами на одноленточных стандартных конвейерах. Действительный срок службы лент КНК не поддается расчету, т. к. требуются экспериментальные данные по абразивности транспортируемого груза, интенсивности износа конкретных лент и т. п. и может быть установлен только на основе опыта эксплуатации КНК в конкретных условиях.

Относительно небольшие значения параметров проскальзывания в связи с большой жесткостью выбранных для КНК-270 резинотросовых лент позволяют надеяться на приемлемый срок их службы и говорят о целесообразности их выбора.

Кроме того, относительное проскальзывание лент при $L_1 \gg L_2$ может приводить к перераспределению нагрузок между приводами лент, нестабильной их работе и даже вызывать автоколебательные процессы в конвейере.

В целом, степень решения проблемы синхронизации движения лент на крутонаклонном участке КНК во многом определяет его работоспособность и эффективность.

Выбор рациональных радиусов кривизны переходных участков и их конструктивных параметров – следующая значимая проблема при создании КНК. Ограничение радиуса кривизны переходных участков связано с возможным образованием гофр и недопустимыми растягивающими напряжениями лент, а также с вероятными просыпаниями груза на нижнем переходном участке. Рекомендуемые радиусы изгиба этого участка в вертикальной плоскости находятся в пределах 100...150 м, а для верхнего участка мощных КНК – более 400 м, что связано с повышенными нагрузками на роlikоопоры из-за больших тяговых усилий в грузонесущей ленте и дополнительными прижимными усилиями для удержания груза на крутонаклонной части КНК. Решение задачи по снижению нагрузок на роlikоопоры было обеспечено уменьшением шага между роlikоопорами и увеличением радиуса переходной кривой.

Лучшим решением с точки зрения нагрузок на роlikоопоры является схема КНК с одним нижним переходным участком. Однако такая схема не была реализована в КНК-270 в связи с необходимостью обеспечения бесперегрузочной транспортировки груза и наличием протяженного горизонтального участка 3 (см. рис. 2) на поверхности карьера.

Важной была проблема разработки схемы и металлоконструкции става конвейера с учетом удержания крутонаклонной части от сползания, опирания на уступы, колебаний температур и возможности смещения горных пород в период эксплуатации конвейера, в том числе от воздействия сейсмических ударов.

Став крутонаклонной части конвейера собирается из десяти однотипных секций длиной 51 м каждая и укороченных разнотипных секций нижнего и верхнего переходных участков. В реализованной схеме конвейера секции друг с другом связаны с помощью шарниров, а вся крутонаклонная часть удерживается от сползания специальной якорной секцией, закрепленной наверху борта карьера. На подступах карьера металлоконструкция опирается на стойки 10 рамной конструкции, которые шарнирно соединены с секциями. Такая схема удержания и опирания является статически неопределимой в части нагрузок на

каждую стойку и в случае разрушения шарнирных соединений (например, их проушин) между двумя секциями может привести к сползанию става конвейера. Понимая эту угрозу, конструкторы конвейера в соединениях секций предусмотрели подстраховочные устройства. Вместе с тем, секции става сложно извлечь при ремонте и заменить при модернизации КНК.

Проработавшимся альтернативным вариантом была схема крутонаклонной части става с опиранием каждой секции на две стойки, жестко установленные на уступах: на одну с шарнирной связью с секцией, а на другую через ползун с подвижной связью. Эта схема опирания статически определима, проще в монтаже и безопаснее для конвейера в целом. Кроме того, при таком варианте силы смещения (составляющие сил тяжести) распределяются по длине конвейера, а не сосредоточены в основном только на якорной секции. Однако первая схема реализована с учетом точки зрения заказчика.

При создании мощного КНК сложной является разработка системы управления его электроприводами, которые должны обеспечить:

- запуск загруженного конвейера, связанный с необходимостью разгона больших инерционных масс, в том числе груза;
- запуск восьми мощных асинхронных электродвигателей при обеспечении допустимых проскальзываний лент на приводных барабанах и скольжения прижимной ленты относительно грузонесущей и груза.

Опыт разработчиков КНК-270 по созданию мощных наклонных конвейеров позволил успешно решить эти и другие задачи. Вместе с тем, приведенные выше и другие научно-технические конструктивные решения, заложенные в КНК-270, потребуют их опробования, неизбежную при создании новой техники ее доводку в условиях карьера и увеличение продолжительности начального периода наладки конвейера до ввода его в эксплуатацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мальгин О.Н., Кустов А. М., Коломников С.С. Развитие циклично-поточной технологии в транспортной системе карьера «Мурунтау». – Горный журнал, № 5, 2007. С. 33-37.
2. Картавый А.Н. Создание крутонаклонных конвейеров с прижимной лентой. – Тяжелое машиностроение, № 3, 2003. С. 14-17.
3. Картавый А.Н. Удержание груза на крутонаклонном конвейере с прижимной лентой. – Горные машины и автоматика, № 1, 2002. С. 33-37.
4. Крутонаклонный ленточный конвейер. Патент РФ № 2165384 / Картавый А. Н., Картавый Н. Г., Шешко Е. Е. – БИ № 11, 2001. С. 280.
5. Картавый А.Н. Определение силовых параметров крутонаклонного конвейера с прижимной лентой. – Горные машины и автоматика, № 4, 2002. С. 10-15.
6. Картавый А.Н. Синхронизация движения и уменьшение износа лент крутонаклонного конвейера с прижимной лентой. – Горные машины и автоматика, № 3, 2002. — С. 19-24. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Кириченко А.И. – главный инженер проекта, ЗАО «НКМЗ»,
Картавый А.Н. – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, НПК «Механобр-техника», gornyi@mtspb.com.