

Устойчивость перемещения насыпного груза в крутонаклонных вертикальных трубчатых конвейерах

Д. т. н. Ю.А. Пертен, В.В. Пеленко,
аспирант Е.С. Ерина

Трубчатые конвейерные системы являются относительно новым внедрением непрерывного транспорта при перемещении насыпных грузов. Конвейеры данного типа находят все более широкое применение как в России, так и за рубежом благодаря компактности, герметизации процесса перемещения, простоты в изготовлении и при обслуживании, наряду с высокой производительностью и возможностью максимально автоматизировать транспортно-технологический процесс.

При разработке первых трубчатых конвейеров их главным недостатком считались высокие денежные затраты. Однако, с сегодняшним взглядом на мир с точки зрения охраны природы, их изолирующая способность делает их экологически выгодной конвейерной системой. Применение герметизированных конвейеров трубчатого типа позволяет значительно улучшить условия труда, сохранность материала и снизить затраты, связанные с транспортированием пылевидных грузов. Кроме того, с их гибкостью они могут заменить собой обычные системы трасс с одиночной лентой стандартной прямой или дуговой (большого радиуса), комбинируя прямую и вертикальную или горизонтальную секции. Трубчатые конвейеры также позволяют создавать сложные пространственные транспортно-технологические трассы. Применение трубчатой ленты дает возможность значительно увеличить угол подъема по сравнению с конвейерами, имеющими желобчатую ленту.

Трубчатые ленточные конвейеры отличаются многообразием, различной степенью сложности изготовления и предназначены для определенных условий работы. Так, наиболее простые конвейеры с лентами заключенными в трубу могут быть использованы в качестве коротких перегружателей при углах наклона, почти не превышающих допустимые для конвейеров с глубокой желобчатостью; конвейеры с замкнутой лентой, перемещающейся в трубе, опираясь на воздушную прослойку или роликоопоры могут транспортировать насыпные грузы по вертикальным трассам; конвейеры, лента которых является только грузонесущим органом, а тяговые функции несут связанные с ней канаты или цепи, могут применяться в сложных трассах, имеющих горизонтальные и крутонаклонные (вертикальные) участки большой протяженности.

Наряду с трубчатыми конвейерами существует ряд конструкций со схожими с ними признаками. Поэтому такие конвейеры как подвесные, ленточные конвейеры, конвейеры с погруженными скребками и трубные транспортеры нуждаются в рассмотрении наряду с трубчатыми, поскольку

позволяют герметизировать процесс перемещения. В целях наглядности ниже приводится классификация данных конвейеров (рис.1).

Несмотря на то, что все четыре вышеперечисленных конвейера являются многообещающими на рынке оборудования для перемещения насыпных грузов, нельзя не отметить ряд преимуществ трубчатых конвейеров. Так, давление, создаваемое грузом на стенки ленты, распределяется равномерно, тем самым, предотвращая ее истирание (что исключено в конвейерах с подвесной лентой), возможность использования на сложных трассах (также как и трубные транспортеры, но без тяжелой металлоконструкции), простота, экономичность, легкость в обслуживании.

Автором предложен крутонаклонный ленточный конвейер, отличительной особенностью которого является конструкция ленты, состоящей из основной части, к которой с помощью вулканизации прикреплены продольные борта на расстоянии 20-30 мм от краев основной горизонтали. Борта выполнены из гибких эластичных материалов, в верхней части имеют утолщения для смыкания с целью создания герметичности.

Достоинствами данной полезной модели являются простота конструкции, герметизация транспортируемого груза, а также использование современных материалов.



Рис.1. Общая классификация конвейеров.

Трубчатые ленточные конвейеры в пищевой промышленности применяются для перемещения пищевых насыпных грузов. Нельзя не отметить сложностей, возникающих при перемещении насыпных грузов, являющихся следствием недостаточной изученности этого процесса. Пищевая среда, транспортируемая трубчатыми конвейерами, обладает некоторыми свойствами как твердого тела, так и жидкости. Она обладает ограниченной поверхностью частиц и может сохранять свою форму лишь до определенного предела. Ее свойства изменяются также в зависимости от уплотняющей нагрузки, влажности, от того, как долго она находилась в покое.

К насыпным грузам относится большинство навалочных грузов с частицами ограниченных размеров (песок, известняк, крахмал, сахар, комбикорм и др.). Под этим понятием подразумевают любой груз, транспортируемый насыпью. Насыпной груз в общем случае представляет собой механическую смесь твердых тел различной формы. Промежутки между этими телами в сухих грузах заполнены воздухом, во влажных – воздух из этих промежутков вытесняется водой.

Многие грузы при приложении к ним уплотняющей нагрузки приобретают такую силу сцепления между частицами, что способны сохранять под нагрузкой устойчивую форму. Усилия сдвига, возникающие при непрерывной деформации (в условиях осыпания насыпного груза), обычно считают зависящими от среднего давления и не зависящими от скорости деформации сдвига.

Рассматривая насыпной груз на крутонаклонном конвейере и траекторию движения его отдельного элемента, можно отметить, что этот элемент воспринимает внешние динамические усилия, изменяет форму, заставляя находящиеся в нем частицы скользить друг по другу. В этом процессе главное (осевое) давление (напряжение), воздействующее на элемент насыпного груза, обозначается обычно через σ , а вспомогательное (боковое) – через σ' . Эти давления называют уплотняющими давлениями, так как они являются причиной изменения плотности насыпного груза (плотность насыпного груза в процессе движения есть функция окончательно установившегося давления). В насыпном грузе в процессе перемещения крутонаклонным конвейером возникают напряжения как под действием массы верхних слоев, так и благодаря поверхностному натяжению при наличии влаги в порах. Объемная масса груза, транспортируемого конвейером, в значительной степени зависит от особенностей формирования груза и конструкции конвейера. Увеличение объемной массы происходит за счет статических и динамических нагрузок, воспринимаемых насыпным грузом при движении грузонесущего элемента крутонаклонного конвейера. В процессе загрузки конвейера и последующем движении происходит переформирование структуры насыпного груза; мелкие частицы укладываются в поры между крупными, и вследствие уплотнения возрастает объемная масса груза. Уплотнение сопровождается вытеснением воздуха и

возникновением молекулярных сил, способствующих упрочнению насыпного груза.

Но не все грузы имеют одинаковое упрочнение при равном давлении. Так, сухой песок почти не обладает сцеплением и практически не упрочняется под действием давлений. Чтобы вызвать сдвиг в таких грузах достаточно преодолеть угол внутреннего трения φ . Если к сухому песку, находящемуся под нормальной нагрузкой N , приложить усилие сдвига F , то никакого непрерывного деформирования не возникает, пока соблюдается условие $F < N \operatorname{tg} \varphi$. Сдвиг начинается тогда, когда усилие F становится равным $N \operatorname{tg} \varphi$. Для точек, лежащих ниже линии $F = N \operatorname{tg} \varphi$, насыпной груз может рассматриваться как жесткое (упругое) тело. Точки, располагающиеся на этой линии, соответствуют началу сдвига.

Для того чтобы груз устойчиво перемещался в трубчатых конвейерах, он должен достаточно уплотниться, чтобы развилось сопротивление сдвигу, достаточное для удержания вышележащего насыпного груза. Следовательно, чем выше в конвейере уплотняющее напряжение σ , тем устойчивее процесс транспортирования насыпного груза.

Таким образом, все насыпные грузы целесообразно относить к упруго-пластичным, причем в области пластичности они являются изотропными и обладающими трением, сцеплением и сжимаемостью.

При изучении системы груз – лента последняя рассматривается как упругая стенка, не препятствующая статическим и динамическим деформациям сыпучей среды, как упруго-пластического сплошного тела. Это дает возможность изучать действие объемных и граничных сил, действующих на сыпучую среду, при решении основных вопросов создания крутонаклонных конвейеров.

Увеличение сцепления груза с внутренней полостью ленты (трубы) происходит за счет создания повышенного давления внутренних стенок трубы на груз при соединении двух половинок или краев ленты. Дополнительное давление в отдельных конструкциях создается за счет перекручивания ленты на участках подъема. От конструкции замка зависит сложность устройства для соединения или разъединения трубы.

При проектировании трубчатых крутонаклонных конвейеров большое внимание уделяется вопросам устойчивости сыпучего груза в процессе перемещения. На рис.2. изображена схема расположения сил, действующих на сыпучий груз при транспортировании его трубчатым конвейером. Пусть, S — длина дуги, отсчитываемая от некоторого начального положения. Элемент $S, S+dS$ — находится под действием трех типов сил:

T и $T+dT$ — силы, с которыми на выделенный элемент действуют отброшенные части насыпного груза;

G — сила тяжести;

$F_{\text{тр}}$ — силы трения груза о конвейерную ленту.

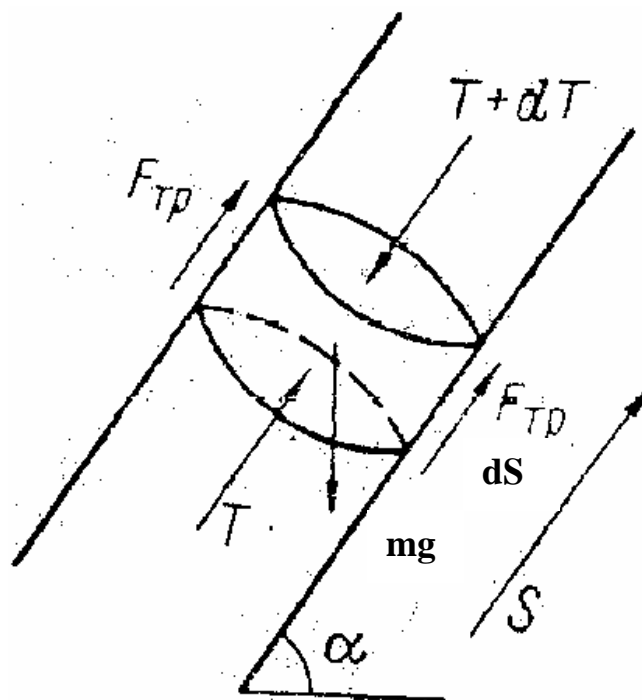


Рис. 2. Схема расположения сил, действующих на сыпучий груз при транспортировании его трубчатыми конвейерами.

Сыпучий груз удерживается на ленте при крутонаклонном перемещении за счет сил трения его о ленту и подпора нижележащих слоев. Поэтому при расчете конвейера необходимо определить величину осевого усилия (на характерных участках конвейера) и длину пологонаклонного участка.

Для выявления соотношения силы тяжести и боковых распорных усилий составим дифференциальное уравнение равновесия элементарного объема насыпного груза на крутонаклонной трассе конвейера:

$$\frac{dT}{dS} = f \cdot n \cdot \sigma \cdot l - (\sin \alpha - f \cos \alpha) \cdot \rho \cdot g \cdot S_{II} \quad (1)$$

S — длина дуги, отсчитываемая от некоторого начального положения;

f — коэффициент трения насыпного груза о ленту;

$n = \sigma' / \sigma$ — коэффициент бокового давления;

l — длина контура поперечного сечения;

α — угол наклона загрузочного участка;

ρ — плотность груза;

g — ускорение свободного падения;

S_{II} — площадь поперечного сечения;

σ — нормальные осевые напряжения в насыпи;

В результате решения уравнения равновесия (1) длина пологонаклонного участка (за счет которого будет создаваться подпор) может быть выражена трансцендентным уравнением:

$$S = \frac{S_n}{l \cdot f \cdot n} \ln \left[1 - \frac{S \cdot l \cdot f \cdot n \cdot \rho \cdot g \cdot \sin \alpha}{l \cdot f \cdot n \cdot p + \rho \cdot g \cdot S_n (\sin \alpha - f \cos \alpha)} \right] \quad (2)$$

где p — осевое давление.