

## МЕТОДИКА ТЯГОВОГО РАСЧЕТА ЗАБОЙНЫХ СКРЕБКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ С ИЗОГНУТЫМ В ПРОФИЛЕ СТАВОМ

Приведена методика тягового расчета забойных скребковых конвейеров, позволяющая определять потребление энергии в зависимости от уровня и способа натяжений тягового органа. Методика основывается на закономерностях формирования локальных сопротивлений движению на изломах става при провисаниях цепей на его изогнутых участках.

Наведена методика тягового розрахунку вибійних скребкових конвеєрів, яка дозволяє визначати споживання енергії в залежності від рівня і способу натягу тягового органу. Методика ґрунтується на закономірностях формування локальних опорів руху на зламах поставу при провисаннях ланцюгів на його вигнутих ділянках.

The method of hauling calculation of back wall scraper conveyers, allowing determining the consumption of energy depending on a level and method of pulls of hauling organ, is resulted. A method is based on conformities to law of forming of local resistances motion on the fractures of chamfer at sagging of chains on his bent areas.

Тяговые расчеты шахтных скребковых конвейеров производятся по типовой методике [1], в основу которой положены устанавливаемые экспериментально интегральные коэффициенты сопротивления движению тягового органа (ТО). Методика не может в полной мере удовлетворить возросшие требования к расчету. В частности, не позволяет выявить влияние способов натяжения ТО, конструктивных параметров конвейерного става в условиях, приближенных к реальным, на уровень потребляемой конвейером энергии.

Вместе с тем известна методика тягового расчета, предложенная Б.Я. и И.Я. Стажевскими [2] (далее методика Стажевских) и ее вариант [3], в которых учитываются провисания цепей, представленных в виде тяжелой гибкой нити, на вогнутых участках пилообразного в профиле рештачного става и закономерности формирования локальных сопротивлений движению ТО на стыках рештаков в зависимости от конструктивных параметров става и от натяжения цепей, которое в процессе эксплуатации может регулироваться. Вместе с тем, в методике Стажевских принимается ряд допущений существенно ограничивающих область ее применения: рассматривается только горизонтальный одноприводной конвейер, натяжение в точке сбегания с приводной звездочки принимается равным нулю, цепное уравнение, описывающее траекторию провисающих цепей, заменено квадратичной зависимостью и т.д. Методика не может быть распространена на конвейер с двумя приводными станциями, поскольку до начала расчета не известно суммарное сопротивление движению ТО. Сложный и громоздкий алгоритм вычислений, основывающийся на аналитических зависимостях, при получении которых принимался ряд существенных упрощений, затрудняет практическое применение методики. Таким образом, методика Стажевских нуждается в уточнении и дальнейшем развитии для ее распространения на многоприводные конвейеры с любым углом установки, а также для исследования влияния уровня и способов натяжения на потребление энергии.

Целью настоящей работы является разработка методики тягового расчета забойных скребковых конвейеров, пригодной для решения широкого круга инженерных вопросов с учетом уровня натяжений тягового органа и реального профиля става.

Принятый в разрабатываемой методике метод математического моделирования статической системы «тяговый орган-рештачный став» (ТО-РС) основывается на основных принципах, изложенных в работе [2]. Вместе с тем методика предполагает применение компьютерных технологий вычисления, что позволяет отказаться от ряда допущений и упрощений, которые были необходимы для получения аналитических зависимостей, применяемых в методике Стажевских. Такой подход, кроме прочего, способствует повышению точности расчетов, а также коренным образом изменяет алгоритм вычислений.

Ниже приводится методика расчета для двухцепного ТО многоприводного конвейера типа СП с расположением цепей под бортами рештаков и замыканием ТО в вертикальной плоскости. В случае применения ТО с центральным расположением цепей, кроме контактов цепей с рештаками, необходимо рассматривать контакты (связи) скребков с направляющими, учитывая изменения во времени положения этих контактов. Это отдельная задача, которая существенно усложняется в связи с увеличением числа ограничений, накладываемых на ТО, и в данной работе не рассматривается.

При составлении модели ТО-РС принимаются следующие допущения.

1. Конвейерный став прямолинеен в плане.
2. Угол установки конвейера  $\beta < 0$  при транспортировании груза вниз;  $\beta > 0$  при транспортировании вверх.
3. Сила тяги  $F$  распределяется равномерно между приводными блоками.
4. Сила натяжения ТО распределяется равномерно между цепями.
5. Масса скребков распределяется равномерно по длине цепей, что позволяет рассматривать цепи как тяжелую гибкую однородную нить.
6. Принимается пилообразный профиль рештачного става при максимальном значении угла взаимного поворота рештаков  $\alpha$  в профиле, который обеспечивается конструкцией замкового соединения рештаков, таким образом, рассматривается наиболее тяжелый режим взаимодействия цепей со стыками рештаков.
7. Отсчет рештаков ведется от головной приводной станции. Отсчет изломов става – по тяговому контуру в направлении движения ТО, т.е. сначала вдоль порожняковой ветви ТО, затем вдоль грузовой (рис. 1). Номера изломов  $i=0, 1, 2, \dots, n_x, \dots, n_{\max}$ ;  $n_x$  – номер последнего излома на порожняковой ветви вблизи хвостовой приводной станции,  $n_x=n_p$ ;  $n_{\max}$  – номер последнего излома на грузовой ветви,  $n_{\max}=2n_p$ ;  $n_p$  – число рештаков.
8. Изломы става, соответствующие стыку первого рештака с головной приводной станцией, принимаются выпуклыми.
9. Траектория участка цепи между двумя соседними выпуклыми изломами става описывается цепной линией. Графическое изображение направляющих участка системы ТО-РС на одной из ветвей представлено на рис. 2.

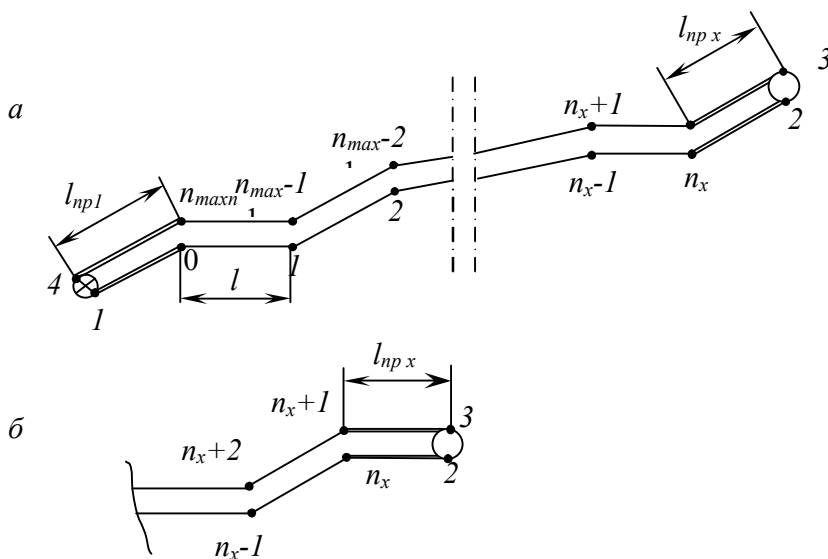


Рис. 1. Порядок нумерации изломов става

Цепь изображается линией  $AB$ , при этом направляющие поверхности рештаков как бы «сдвигаются» на толщину цепи. Здесь:  $A$  и  $B$  – граничные точки контакта провисающего участка цепи с нижними направляющими;  $E$  – вершина цепной линии;  $\delta$  – конструктивный зазор между цепью и ее верхней направляющей;  $h$  – зазор

между точкой  $D$ , вершиной вогнутого излома нижней направляющей, и цепью при ее провисании. Возможны восемь вариантов расположения провисающих участков цепи относительно изломов направляющих става (рис. 3): варианты 1.1-1.4 отвечают условию  $h < \delta / \cos \alpha / 2$  (цепная линия  $AB$  не касается точки  $C$  – вершины вогнутого излома верхней направляющей), варианты 2.1-2.4 отвечают условию  $h \geq \delta / \cos \alpha / 2$  (цепная линия  $AB$  касается точки  $C$  и, таким образом, распадается на два рассматриваемых отдельно участка  $AC$  и  $CB$ ).

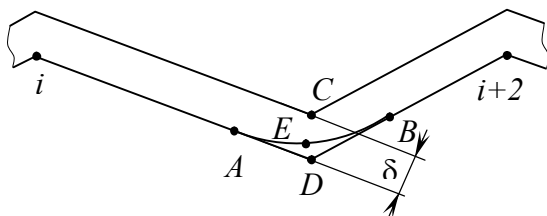


Рис. 2. Траектория провисания участка цепи

Зависимости для определения цепной линии, заимствованные из работы [5]:

$$U = \frac{T_x}{g\rho} \left[ \operatorname{ch} \left( \frac{g\rho}{T_x} x \right) - 1 \right];$$

$$\dot{U} = \operatorname{ch} \left( \frac{g\rho}{T_x} x \right),$$

где  $x$  и  $U$  – абсциссы и ординаты точек цепной линии;  $T_x$  – проекция на ось абсцисс силы натяжения цепи на участке провисания,  $T_x = T \cos(\arctg \dot{U})$ ;  $T$  – натяжение цепи на участке провисания;  $\rho_0$  – приведенная погонная масса цепи,  $\rho_0 = \rho_T / n_{ц}$ ;  $\rho_T$  – масса тягового органа;  $n_{ц}$  – число цепей в ТО.

10. На каждом участке системы ТО-РС начало координат располагается в вершине цепной линии, а ось  $x$  направлена горизонтально по ходу движения цепей. Углы  $\alpha_{A\Gamma(\Pi)}$ ,  $\alpha_{B\Gamma(\Pi)}$  (в радианах) наклона рештаков к горизонту определяются согласно рис. 4, где «п» и «г» – индексы, обозначающие принадлежность изломов к порожняковой и грузовой ветвям,  $A$  и  $B$  – индексы рештаков, которым отвечают точки  $A$  и  $B$  контакта рештаков и цепи. В случае касания цепи рештаков в точках  $A$  и  $B$  (не в вершине излома) соответственно:  $\arctg \dot{U}_B = \alpha_B$ ,  $\pi + \arctg \dot{U}_A = \alpha_A$ .

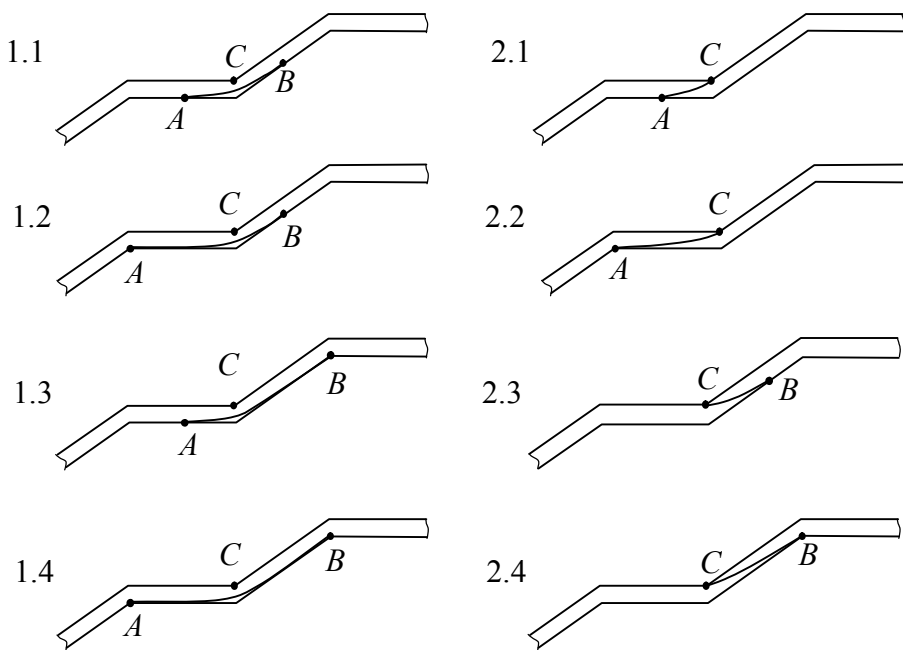


Рис. 3. Варианты расположения цепи относительно изломов става

11. Сопротивление движению груза на верхней ветви отнесено к вершинам выпуклых изломов нижней направляющей, причем дополнительные сопротивления движению, вызванные образовавшимися между цепями и направляющими клиньями груза (заштыбовка), учитываются коэффициентом  $w$ .

12. Усилия в цепях и сопротивление движению тягового органа определяются

методом последовательных приближений. В первом приближении для принятого способа натяжения ТО – по методике, приведенной в работе [5].

Определение натяжения цепи  $T$  на участке провеса:

1) если точки  $A$  и  $B_{\text{пр}}$  (индекс «пр» – означает, что рассматривается участок цепи, предшествующий излому), находящиеся по обе стороны от выпуклого излома, не совпадают с вершиной излома (цепь касается обоих рештаков) (рис. 5), то

$$T = H + \Delta T + f_{A2(n)}(l_p - l_{AD}) = H[1 + 2w_0 \cos(\frac{\alpha_{A2(n)} - \alpha_{B2(n)}}{2})] + (l_p - l_{AD})f_{A2(n)},$$

где  $H$  – усилие натяжения цепи перед выпуклым изломом;  $w_0$  – удельное сопротивление движению цепи по рештаку, в данном случае приравнивается коэффициенту трения в движении;  $l_p$  – длина рештака;  $l_{AD}$  – длина участка рештака между точками  $A$  и  $D$ ;  $\Delta T$  – приращение усилия натяжения в точке излома за счет сил трения;  $f_{A2(n)}$ ,  $f_{B2(n)}$  – градиенты сопротивления движению при перемещении ТО по рештакам с точками  $A$  и  $B$ ,

$$f_{A2(n)} = g\rho_0(w_0 \cos \alpha_{A2(n)} - \sin \alpha_{A2(n)}); f_{B2(n)} = g\rho_0(w_0 \cos \alpha_{B2(n)} + \sin \alpha_{B2(n)})$$

;

2) если точки  $A$  и  $B_{\text{пр}}$  совпадают с вершиной (рис. 6),

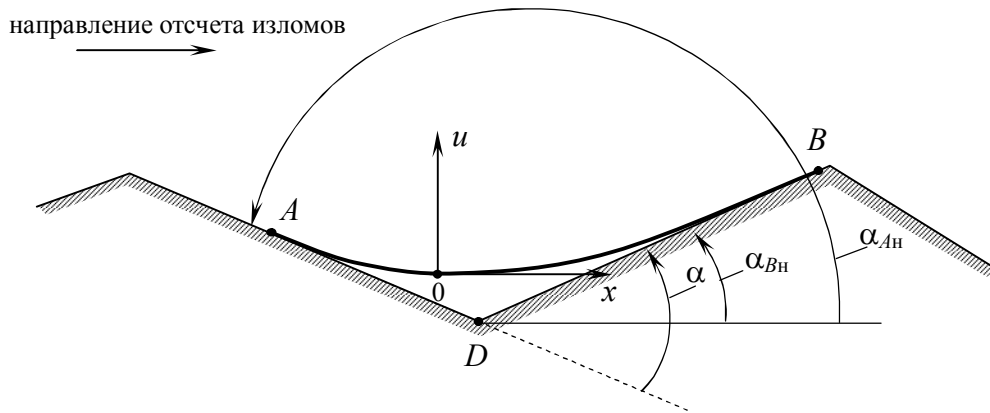
$$T = H \left[ 1 + 2w_0 \cos \left( \frac{\pi + \arctg \dot{U}_A - \arctg \dot{U}_{B_{\text{пр}}}}{2} \right) \right],$$

где  $\dot{U}_A$ ,  $\dot{U}_{B_{\text{пр}}}$  – производные функций  $U(x)$  (цепных линий) в точках  $A$  и  $B_{\text{пр}}$ ;

3) если точка  $A$  совпадает с вершиной, а точка  $B_{\text{пр}}$  – нет, то

$$T = H \left[ 1 + 2w_0 \cos \left( \frac{\pi + \arctg \dot{U}_A - \alpha_{Bz(n)}}{2} \right) \right]$$

а) нижняя ветвь



б) верхняя ветвь

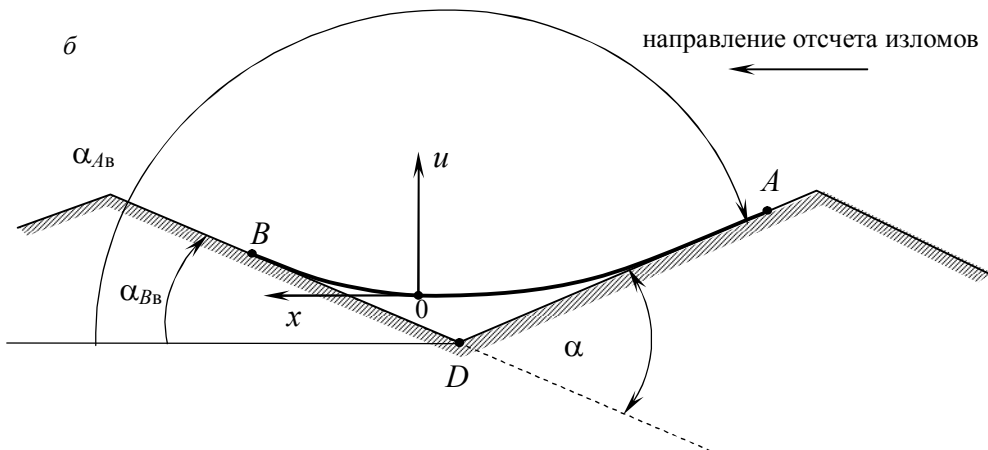


Рис. 4. Система отсчета координат точек и углов наклона

$$f_{Bz(n)} = g\rho_0(w_0 \cos \alpha_{Bz(n)} + \sin \alpha_{Bz(n)}) ;$$

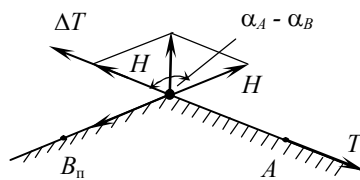


Рис. 5. Формирование усилий на цепи  
в изломе

4) если точка A не совпадает с вершиной, а точка B<sub>пр</sub> – совпадает, то

$$T = H \left[ 1 + 2w_0 \left( \frac{\alpha_{Az(n)} - \arctg \dot{U}_{Bпр}}{2} \right) \right].$$

Расчет по данной методике содержит следующие укрупненные блоки.

1. Формируются исходные данные, в частности принимается способ натяжения ТО, задается число приводных станций и приводных блоков.

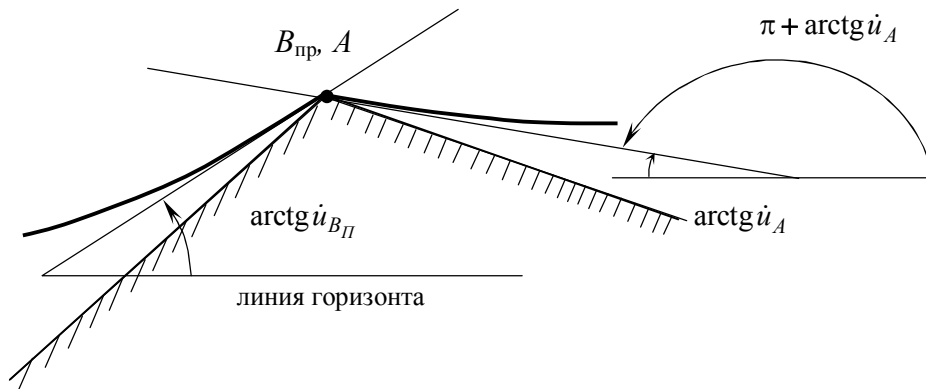


Рис. 6. Схема определения углов при совпадении точек  $A$  и  $B_{пр}$  с вершиной выпуклого стыка

По типовой методике[1] определяются в первом приближении сопротивление движению ТО и по одной из формул, приведенных в работе [5], усилие в точке сбегания ТО с головного привода, соответствующее способу натяжения ТО

2. Производится расчет по предлагаемой методике. Для первого излома, в предположении, что провисающий участок цепи касается поверхности обоих рештаков (вариант 1.1), в соответствии с принятыми допущениями составляется и решается следующая система алгебраических уравнений:

$$X_A = \frac{T_X}{g\rho_0} \operatorname{arsh}(\operatorname{tg}\alpha_A);$$

$$X_B = \frac{T_X}{g\rho_0} \operatorname{arsh}(\operatorname{tg}\alpha_B);$$

$$U_A = \frac{T_X}{g\rho_0} \left( \operatorname{ch} \frac{g\rho_0 \cdot X_A}{T_X} - 1 \right);$$

$$U_B = \frac{T_x}{g\rho_0} \left( \operatorname{ch} \frac{g\rho_0}{T} \cdot X_B - 1 \right);$$

$$X_D = (U_A - U_B + X_B \operatorname{tg}\alpha_B - X_A \operatorname{tg}\alpha_A) / (\operatorname{tg}\alpha_B - \operatorname{tg}\alpha_A);$$

$$T = H \left( 1 + 2\omega_0 \cos \frac{\alpha_A - \alpha_{Bп}}{2} \right) + (l_P - l_A) \cdot f_A;$$

$$T_X = -T \cos(\alpha_A).$$

Аналогичным образом составляются системы уравнений для остальных вариантов.

Если в результате решения приведенной системы оказывается  $l_A < l_p$  и  $l_B < l_p$ , то необходимо перейти к расчету сопротивлений на следующем изломе.

Если же  $l_A \geq l_p$  и  $l_B < l_p$ , то полагается  $l_A = l_p$  и рассчитывается вариант 1.2.

Если после расчета варианта 1.2  $l_B \geq l_p$ , рассчитывается вариант 1.3.

И, наконец, если после решения варианта 1.2 оказывается  $l_B \leq l_p$ , то необходимо перейти к решению системы уравнений, отвечающих варианту 1.3.

Кроме контроля положения точек касания А и В на каждом шаге рассчитывается зазор  $h$ . Если выполняется условие  $h \geq \delta / \cos \alpha / 2$ , то цепь касается выгнутого излома верхней направляющей, и необходимо рассчитывать вариант 2.1.

Если после расчета варианта 2.1 выполняется условие  $l_A > l_p$ , необходимо перейти к расчету варианта 2.2.

При  $l_A \leq l_p$  рассчитывается вариант 2.3.

Если окажется, что  $l_B < l_p$ , то следует перейти к расчету натяжений на следующем изломе. В противном случае рассчитывается вариант 2.4, а затем осуществляем переход к расчету на следующем изломе.

4. После окончания расчетов для первого излома на основании полученных результатов формируются исходные данные для расчета натяжения на втором изломе. Затем производится расчет для 3-го излома и т.д.

5. В результате проведенного методом обхода по контуру конвейера расчета определяются усилия натяжения, сопротивления движению и потребляемая приводом мощность во втором приближении. Если окажется, что относительная погрешность вычисления мощности превышает принятое предельное значение, то расчет повторяется.

Разработанная методика тягового расчета позволяет производить расчет потребляемой приводом мощности в реальных условиях эксплуатации конвейера с изогнутым в профиле ставом в зависимости от уровня натяжения в случае применения жесткого или автоматического натяжного устройства.

#### Список литературы

1. РТМ 12.44.045-81. Конвейеры шахтные скребковые. Тяговый расчет. – М.: Гипроуглемаш. 1982. – 31 с.
2. Стажевский Б.Я. Обобщение исследований работы изгибающихся скребковых конвейеров на шахтах Кузбасса/ Б.Я. Стажевский, И.Я. Стажевский. – М.: ЦНИЭИуголь, 1967. – 67 с.
3. Шахмейстер Л.Г. Подземные конвейерные установки/ Л.Г. Шахмейстер, Г.И. Солод; [под ред. А.О. Спиваковского]. – М.: Недра, 1976. – 432 с.
4. Степанов А.Г. Динамика машин/ А.Г. Степанов. – Екатеринбург: УрОРАН, 1999. – 304 с.
5. Доброногова В.Ю. О применении многофункциональных гидравлических натяжных устройств в двухприводных забойных скребковых конвейерах/ В.Ю. Доброногова // Збірник наукових праць / Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг, 2011.- Вип. 28. – С. 140-146.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ширінім Л.Н.  
Надійшла до редакції 29.10.2012*