

## **АЛГОРИТМ И ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ГОРИЗОНТАЛЬНО-НАКЛОННОГО СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА С ВЫСОКИМИ СКРЕБКАМИ**

*Проанализированы основные проблемы, возникающие при создании высокопроизводительных и надежных транспортных машин на современном этапе технического перевооружения промышленности. Скребковые конвейеры с высокими скребками широко применяются для транспортирования сыпучих грузов. При их создании и модернизации необходимо решить множество локальных задач, в том числе рассчитать параметры элементов конструкций конвейеров, а также определить условия, при которых высокие скребки конвейеров работали бы устойчиво, без чрезмерных отклонений назад. Составлена математическая модель расчета горизонтально-наклонного скребкового конвейера с высокими скребками. Проанализированы полученные результаты.*

**Ключевые слова:** скребковый конвейер, высокие скребки, желоб, надежность.

### **Постановка проблемы**

Решение проблемы создания высокопроизводительных и надежных транспортных машин на современном этапе технического перевооружения промышленности требует в первую очередь объективной оценки их параметров с учетом всех факторов, влияющих на эффективность использования данного технического оборудования. Нельзя создать технические средства транспортирования грузов, не имея надлежаще обоснованных и проверенных методических материалов по их расчету и проектированию. Скребковые конвейеры с высокими скребками широко применяются для транспортирования сыпучих грузов. При их создании и модернизации необходимо решить множество локальных задач, в том числе рассчитать параметры желоба, скребков, сопротивлений движению и натяжений тягового органа, при которых скребки работали бы устойчиво, без чрезмерных отклонений назад, определить мощность привода и др. Поэтому разработка алгоритма расчета указанного конвейера является актуальной научной задачей.

### **Анализ последних исследований и публикаций**

В учебном пособии для вузов [1] в разделе «Транспорт конвейерами» приведены порядок и методика расчета скребковых конвейеров, в том числе расчет производительности конвейера и сопротивлений движению тяговой цепи и ее натяжений в характерных точках, проверка тяговой цепи на прочность и расчет мощности двигателей для двигательного и тормозного режима.

Однако эта методика полностью учитывает особенности условий работы забойных шахтных конвейеров. В другом учебном пособии [2] также не отражены вопросы расчета скребковых конвейеров с высокими перегородками и комбинированными углами их установки для сложных трасс транспортирования грузов. Успешному решению отдельных задач для указанных типов конвейеров способствуют труды научно-исследовательских, проектно-конструкторских и учебных институтов (Гипроуглемаш, Донгипроуглемаш, ДонУГИ, ИГД им. А.А. Скочинского, ДонНТУ, МГГУ) и многих зарубежных фирм [3-6].

### **Цель (задачи) исследования**

Целью настоящей работы является снижение трудоемкости операций проектировщика при выборе транспортного оборудования для заданных условий эксплуатации.

В работе решаются следующие взаимосвязанные задачи:

- обоснование выбора скорости движения тягового органа;
- дается выражение для определения расчетной производительности скребкового конвейера;
- по заданной производительности определяется рабочая ширина желоба;
- определяется суммарное сопротивление движению тягового органа с учетом горизонтального и наклонного участков конвейера;
- рассчитывается тяговое усилие на приводной звездочке;
- рассчитывается мощность приводного электродвигателя;

- определяются усилия в тяговом органе (в набегающей и сбегающей ветвях);
- выбирается цепь по коэффициенту запаса прочности и уточняется этот коэффициент;
- подбирается электродвигатель, определяется передаточное число и компоуется привод.

**Основной материал исследования**

Принимаем расчетную схему скребкового конвейера с высокими скребками (рис. 1).

На основе всестороннего анализа существующих схем скребковых конвейеров, методик расчета и опытного их апробирования автором предложен следующий алгоритм расчета горизонтально-наклонного скребкового конвейера с высокими скребками.

1. Скорость транспортирования принимают постоянной или регулируемой в определенном диапазоне в зависимости от назначения конвейера. Скорость движения тягового органа скребковых конвейеров меньше скорости движения ленты ленточных конвейеров вследствие больших потерь на трение.

2. Расчетная производительность скребкового конвейера  $Q$ , т/ч:

$$Q = 3600F\gamma v = 3600Bh\psi k_{\beta} v,$$

где  $F$  – расчетная площадь груза в желобе,  $m^2$ ;  $B, h$  – соответственно ширина и высота желоба, м;  $\psi$  – коэффициент заполнения желоба: 0,5...0,6 для легко сыпучих грузов и 0,7...0,8 для плохо сыпучих грузов;  $k_{\beta}$  – экспериментально полученный коэффициент, зависящий от угла наклона желоба;  $\rho$  – плотность транспортируемого груза,  $t/m^3$ ;  $v$  – скорость движения цепи, м/с.

Коэффициент соотношения ширины и высоты скребка:

$$k_{\beta} = \frac{b_{ск}}{h_{ск}},$$

где  $b_{ск}$  – ширина скребка, мм;  $h_{ск}$  – высота скребка, мм.

Коэффициент  $k_{\beta}$  выбирается по таблице 1.

3. Обычно при проектировании конвейеров непрерывного действия необходимо выбрать геометрические параметры конвейера заданной производительности для транспортирования определенного груза. В зависимости от физико-механических свойств груза выбирают рабочую скорость транспортирования, определяют геометрические размеры скребка конвейера, способ их крепления.

4. По заданной производительности находят рабочую ширину желоба:

$$B = \sqrt{\frac{(2...4)Q}{3600\rho k_{\beta}\psi}}.$$

Полученную ширину желоба округляют по типовым размерам ширины скребка (по ГОСТ 7116-77  $b_{ск}=120...1200$  мм) с учетом зазора между желобом и скребком на каждую сторону по 5...15 мм.

Высота скребка обычно больше высоты желоба на 25...50 мм. Шаг скребка  $t_{ск} = (2...4)h_{ск}$ .

Вычисленная ширина желоба и шаг скребков должны быть проверены по кусковатости груза. Расстояние между скребками и ширина желоба должны удовлетворять условиям:

$$t_{ск} \geq 1,5\alpha_{max}; B \geq k_c\alpha_{max},$$

где  $k_c$  – коэффициент, зависящий от конструкции конвейера и характера груза: для двухцепных конвейеров и сортированных грузов 3...4; для несортированных грузов 2...2,5; для одноцепных конвейеров соответственно 5...7 и 3...3,5;  $\alpha_{max}$  – максимальный размер куса транспортируемого груза.

5. Типы приводного, натяжного, загрузочного и разгрузочного устройств предварительно

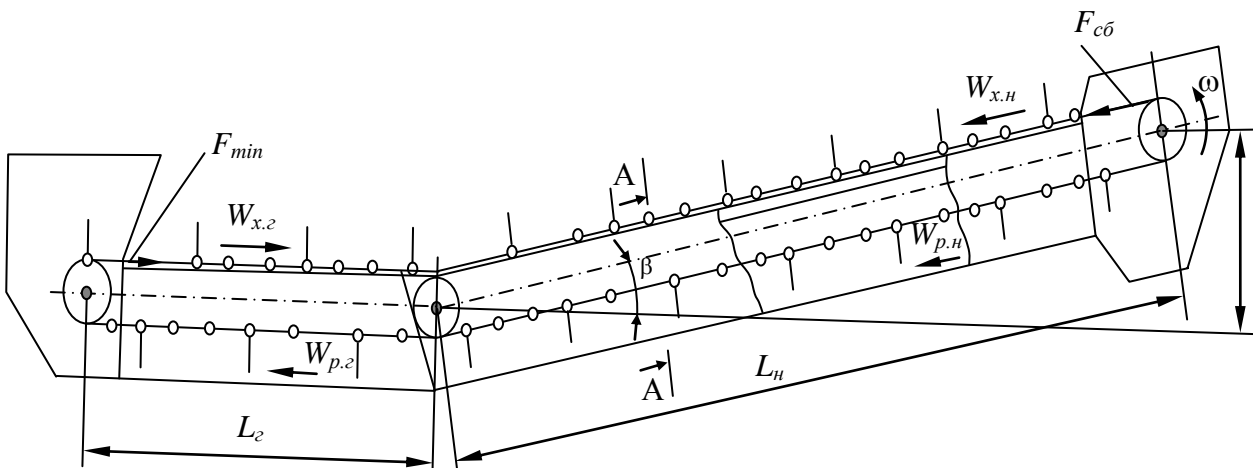


Рис. 1. Расчетная схема скребкового конвейера

Табл. 1. Значение коэффициента  $k_\beta$

Груз	Угол наклона конвейера					
	0	10	20	30	35	40
Легко сыпучий	1,0	0,85	0,65	0,5	0,2	-
Плохо сыпучий, кусковой	1,0	1,0	1,0	0,75	0,6	0,5

выбирают с учетом общих и специфических требований, предъявляемых к конструкции, а также возможности использования стандартных и унифицированных узлов и элементов конструкции.

Суммарное сопротивление движению тягового органа скребкового конвейера, Н:

$$W_\Sigma = \sum_{i=1}^n W_i = W_{зр.н} + W_{зр.г} + W_{нор.н} + W_{нор.г},$$

где  $W_i$  – сопротивление на  $i$ -м участке;  $n$  – число участков.

Сопротивление перемещению груза и тягового органа (цепи со скребками)  $W_{зр.н}$  на рабочем наклонном участке длиной  $L_{зр.н}$ :

$$W_{зр.н} = L_{зр.н} g (q_{зр} + q_{ц}) (\omega' \cos \beta + \sin \beta),$$

где  $q_{зр}$  – линейная плотность груза, кг/м;  $q_{ц}$  – линейная плотность тягового органа, кг/м;  $\omega'$  – коэффициент сопротивления перемещению груза по желобу: для скребковых конвейеров  $\omega' = 0,3 \dots 1,0$ ;  $\beta$  – угол наклона ветви конвейера, град.;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Сопротивление перемещению груза и тягового органа (цепи)  $W_{зр.г}$  на рабочем горизонтальном участке длиной  $L_{зр.г}$ :

$$W_{зр.г} = L_{зр.г} g (q_{зр} + q_{ц}) \omega'.$$

Сопротивление движению порожней ветви тягового органа  $W_{нор.г}$  на горизонтальном участке длиной  $L_{нор.г}$ :

$$W_{нор.г} = L_{нор.г} g q_{ц} \omega'_ц,$$

где  $\omega'_ц$  – коэффициент сопротивления перемещения тягового органа: для катковых цепей 0,1...0,13; для цепей без катков (перемещающихся скольжением) 0,25...0,4 (большие значения принимают для конвейеров меньшей производительности).

Сопротивление движению порожней ветви тягового органа  $W_{нор.н}$  на наклонном участке длиной  $L_{нор.н}$ :

$$W_{нор.н} = L_{нор.н} g q_{ц} (\omega'_ц \cos \beta - \sin \beta).$$

Знак (-) указывает на то, что на рассматриваемом участке  $W_{нор.н}$  является движущей силой,

направленной в сторону движения тягового органа (см. рис. 1).

6. Расчетное тяговое усилие (окружная сила)  $W_0$  на приводной звездочке:

$$W_0 = (\omega'_0)^m \sum_{i=1}^n W_i = (\omega'_0)^m \times [W_{зр.н} + W_{зр.г} + W_{нор.н} + W_{нор.г}]$$

где  $\omega'_0 = 1,05 \dots 1,1$  – коэффициент сопротивления на натяжной и отклоняющей звездочках, учитывающий потери в шарнирах цепи при их огибании и потери в подшипниках;  $m$  – число звездочек, кроме приводной.

7. Расчетная мощность приводного электродвигателя  $N$ , кВт:

$$N = \frac{k_m W_0 v}{1000 \eta_0},$$

где  $\eta_0$  – КПД всего передающего механизма, включая приводные звездочки.

8. Определение усилий в тяговом органе.

Усилия в набегающей ветви  $S_{нб}$  тягового органа:

$$S_{нб} = W_0 + S_{сб}.$$

Усилия в сбегающей ветви  $S_{сб}$  тягового органа в общем случае:

$$S_{сб} = (1,0 \dots 1,15) S_{min},$$

где  $S_{min}$  – минимальное натяжение тягового органа, Н.

В конкретном случае  $S_{сб}$  можно определить суммированием всех сил, действующих на порожнюю ветвь цепи (рис. 2):

$$S_{сб} = S_{min} - W_{нор.г} + W_{нор.н}.$$

В конвейерах с высокими скребками при недостаточном натяжении цепи скребки отклоняются назад под действием силы сопротивления перемещению порции груза.

Минимальное допустимое натяжение, обеспечивающее устойчивость скребка, то есть допустимое отклонение его на угол  $[\theta] = 2 \dots 3^\circ$ , пренебрегая массой скребка, можно определить из условия (см. рис. 2):

$$W_{ск} \cos \theta \leq S_{min} t \sin \theta,$$

где  $W$  – сопротивление движению груза, находящегося перед скребком;  $h_{ск}$  – плечо приложения силы  $W$ .

$$W = g (q_{зр} + q_{ц}) t_{ск} (\omega' \cos \beta + \sin \beta),$$
 то

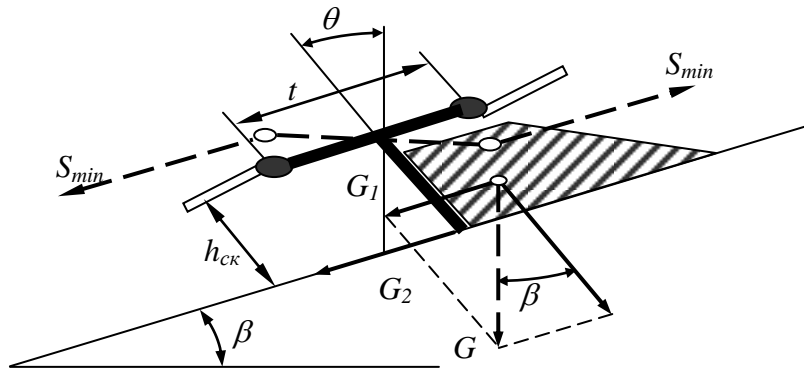


Рис. 2. Схема сил, действующих на скребок

$$S_{min} = g(q_{zp} + q_u)[(\omega' \cos \beta + \sin \beta)h_{ck}] \left( \frac{t_{ck}}{t} \right) t g \theta.$$

Здесь  $t_{ck}$  и  $t$  – соответственно шаг чередования скребков и шаг цепи. Можно применить  $t_{ck}$  равное  $(1...2)b_{ck}$  или  $t_{ck}$  равное  $(4, 6, 8 \text{ или } 10) \cdot t$  в зависимости от вида тяговой цепи.

9. Цепь подбирают по коэффициенту запаса прочности  $n$  относительно допустимой разрешающей нагрузки  $[S_p]$ .

При этом должно соблюдаться условие:

$$S_p < [S_p].$$

Расчетное разрушающее усилие в цепи, Н:

$$S_p = S_{min} [n],$$

где  $[n]$  – коэффициент запаса прочности: для горизонтальных конвейеров не ответственного назначения 5...6; для конвейеров ответственного назначения и с наклонными участками 7...10.

Максимальное усилие в цепи, Н:

$$S_{max} = S_{нб} + S_{\delta},$$

где  $S_{\delta}$  – динамическое усилие в цепи, Н.

Поскольку шаг цепи  $t$  неизвестен, то ориентировочно принимают  $S_{\delta} = S_{нб}$ . Тогда:

$$S_p = S_{max} [n] = 2 \cdot S_{нб} [n].$$

Зная нагрузку  $S_p$ , выбирают цепь и таким образом получают значение  $t$ .

Далее уточняют действующую в цепи динамическую нагрузку:

$$S_{дин} = \left[ \frac{6}{t} \cdot \frac{q_{zp} + c' q_u}{g} \cdot \left( \frac{\pi v}{z} \right)^2 \right] g,$$

где  $c'$  – коэффициент, учитывающий уменьшение приведенной массы движущихся частей конвейера,  $c'=2$  при  $L_k < 25$  м;  $c'=1,5$  при

$L_k = 26...60$  м;  $c'=1$  при  $L_k > 60$  м;  $z$  – число зубьев приводной звездочки;  $t$  – шаг цепи.

Расчетное разрывное усилие:

$$S_p = S_{нб} + S_{дин}.$$

Проверка цепи заключается в уточнении коэффициента запаса прочности:

$$n = \frac{[S_p]}{S_p} \geq [n].$$

10. Далее подбирают электродвигатель, определяют передаточное число и компонуют привод. Редуктор и соединительные муфты выбирают аналогично ленточным и пластинчатым конвейерам согласно рекомендациям [7].

В случае применения конвейеров большой длины (более 100 м) желательно учитывать сопротивление, возникающие на переходных участках.

### Выводы

Разработанный алгоритм и обозначенные особенности расчета горизонтально–наклонного скребкового конвейера с высокими перегородками позволяют выполнить расчет конвейера на стадии проектирования рассмотренного типа конвейеров для транспортирования сыпучих грузов в промышленности, в том числе угольной, машиностроительной, строительстве и др.

### Список литературы

1. Расчеты и проектирование транспортных средств непрерывного действия: Учеб. пособ. для вузов / А.И. Барышев, В.А. Будишевский, В.О. Гутаревич и др.; под общ. ред. В.О. Гутаревича. – Издание 2-е перераб. и доп. – Донецк: ГОУ ВПО «ДонНТУ», 2017. – 679 с.
2. Курсовое и дипломное проектирование транспортирующих машин: Учеб. пособ. для вузов / А.И. Барышев, А.В. Закалов, В.Г. Стебляко и др. – Донецк: ДонНУЭТ, 2011. – 485 с.
3. Analysis of Scraper Conveyor Running Resistance

- / Coal Mine Machinery, 2009 [Online]. Available: [http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-MKJX200901003.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-MKJX200901003.htm)
4. Матушкин, О.П. Конструктивные особенности современных скребковых транспортеров / О.П. Матушкин, Ю.Н. Матушкина // Сборник статей X Международной научно-практической конференции «Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации», 27 октября 2017 г., г. Пенза. – Пенза: Наука и Просвещение, 2017. – С. 66-69.
  5. Ansari, D.M.D. Mathematical Model of Asynchronous Machine in MATLAB Simulink // Int. J. Eng. Sci. Technol. – 2010. – Vol. 2. – P. 1260-1267.
  6. Albert, W. A. J. Uber Treibseile am Harz. Archive fur Mineralogie Geognosie Bergbau und Huttenkunde. –1838. – Vol. 10. – P. 34-215.
  7. Теоретические основы и расчеты транспорта энергоемких производств: Учеб. пособ. для вузов / Под общ. ред. В.П. Кондрахина. – Издание 2-е перераб. и доп. – Донецк: ГОУ ВПО «ДонНТУ», 2017. – 216 с.

V.F. Shavlak /Cand.Sci. (Eng.)/

Donetsk National Technical University (Donetsk)

### THE ALGORITHM AND CALCULATION OF THE HORIZONTAL INCLINE SCRAPER CONVEYOR WITH HIGH SCRAPERS

**Background.** The solution to the problem of creating high-performance and reliable transport at the present stage of technical re-equipment of the industry requires, first and foremost, an objective assessment of its parameters, taking into account all factors affecting the efficiency of the use of this technical equipment. You cannot create technical means of transporting goods without proper and tested methodical material for their calculation and design. Scraper conveyors with high scrapers are widely used for transporting bulk cargo. Their design and upgrading need solving of many local problems: to calculate the parameters of the trough and scrapers, the resistance to the movement and tension of the traction body so that the scrapers work steadily without excessive deflections, to determine the drive capacity, etc. Therefore, the development of the algorithm for calculating the specified conveyor is an actual scientific problem.

**Materials and/or methods.** To a successful solution of individual tasks for these types of conveyors contribute the proceedings of scientific-research, design and educational institutes (Giprouglemash, Dongiprouglemash, Donetsk Mining Institute, A.A. Skochinsky Institute for Mining, Donetsk National Technical University, Moscow State Mining University and many others). The objective of this paper is to reduce the complexity of the designer's work in the choice of transport equipment for the specified operating conditions.

**Results.** The following interrelated problems solved: the choice of the speed of the traction body justified; an equation to define the estimated performance of the scraper conveyor given; by given performance the working width of the trough determined; the total resistance to the movement of the traction body taking in account the horizontal and inclined sections of the conveyor determined; the traction force on the drive sprocket calculated; the power of drive motor calculated; the effort of the traction body determined; the chain according to the safety factor chosen and the factor verified; the motor selected, gear ratio determined, and the drive assembled.

**Conclusion.** The algorithm and features of the calculation of horizontal incline scraper conveyor with high scrapers allow calculating at the design stage the considered type conveyors for transportation of bulk cargo in the industry, including coal, engineering, construction, etc.

**Keywords:** scraper conveyor, high scrapers, trough, reliability.

#### Сведения об авторе

**В.Ф. Шавлак**

SPIN-код: 4837-7126

Author ID: 852557

Телефон: +380 (62) 301-07-78

Эл. почта: shavlak1@yandex.ua

Статья поступила 23.11.2017 г.

© В.Ф. Шавлак, 2017

Рецензент к.т.н., доц. В.О. Гутаревич