

## МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ

УДК 621.86

К.А. Гончаров, В.П. Дунаев, А.А. Бабаев

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЯГОВОГО КАНАТА МЕХАНИЗМА ИЗМЕНЕНИЯ ВЫЛЕТА СТРЕЛЫ МОБИЛЬНОГО ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО ЛЕНТОЧНОГО ПОГРУЗЧИКА

Предложена новая конструктивная схема механизма изменения вылета стрелы мобильного телескопического ленточного погрузчика. Рассмотрены и проанализированы расчетные схемы механизма. Получены зависимости и даны рекомендации для определения усилий в тяговых канатах механизма.

Ключевые слова: ленточный конвейер, мобильный телескопический погрузчик, механизм выдвижения стрелы, тяговый канат.

Мобильные ленточные погрузчики широко используются при механизации погрузочно-разгрузочных работ, перемещая преимущественно сыпучие материалы. Одна из разновидностей мобильных погрузчиков – телескопические ленточные погрузчики являются наиболее универсальными, так как позволяют равномерно загружать рабочие емкости различных транспортных средств (трюмы судов, грузовые полувагоны и т.д.).



Рис. 1. Схема расположения тягового каната над грузовой ветвью конвейера компании «Telestack Limited»

Механизмы выдвижения таких погрузчиков имеют, как правило, канатную тягу. Одна из основных проблем, возникающих при конструировании телескопических погрузчиков, заключается в выборе схемы запасовки каната механизма выдвижения стрелы. Распространенная схема запасовки (погрузчики ирландской компании «Telestack Limited») предполагает расположение одной из ветвей тягового каната непосредственно над грузовой ветвью выдвижного конвейера (рис. 1), что приводит к значительному износу каната при восприятии усилий загрузки. Ситуация дополнительно усугубляется в случае транспортирования погрузчиком ядовитого груза (гранулированной серы).

В данной работе предлагается альтернативная схема запасовки каната механизма выдвижения стрелы (рис. 2). Особенностью схемы является наличие отклонения верхней ветви тягового каната 4 от стрелы. Для поддержания необходимого натяжения в ветвях тягового каната и компенсации его возможной вытяжки в схему включены натяжные блоки 7 и 11. При работе механизма выдвижения нижняя ветвь тягового каната, конец которой закреплен на металлоконструкции стрелы, наматываясь на приводной барабан 9, выдвигает стрелу вперед по направлению движения грузопотока. Такое направление движения реализуется с помощью отклоняющего блока 14. При работе погрузчика с выдвинутой стрелой верхняя ветвь тягового каната 4 выполняет поддерживающую функцию, частично воспринимая нагрузку от веса стрелы, выдвижного конвейера и груза. При возврате стрелы в задвинутое положение верхняя и средняя ветви тягового каната наматываются на тяговый барабан 9, передавая тяговое усилие на стрелу. Нижняя ветвь тягового каната в

этом случае блокирует возможность резкого ската стрелы вниз по металлоконструкции основной секции погрузчика.

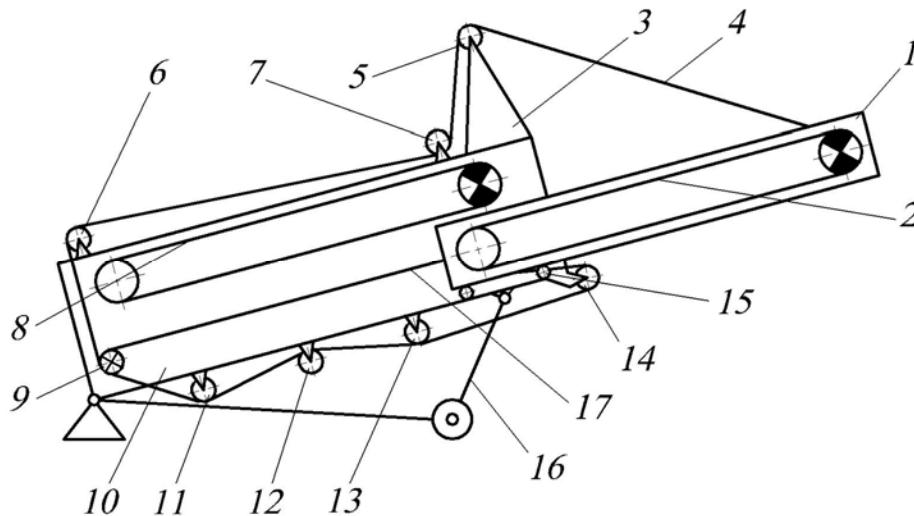


Рис. 2. Схема запасовки каната мобильного погрузчика с башенной надстройкой:  
 1 – металлоконструкция выдвижного конвейера (стрела); 2 – выдвижной конвейер;  
 3 – башенная надстройка; 4 – тяговый канат; 5, 6, 12, 13, 14 – отклоняющие блоки;  
 7, 11 – натяжные блоки; 8 – основной конвейер; 9 – приводной барабан механизма  
 выдвижения стрелы с тремя нарезными участками; 10 – металлоконструкция  
 основной секции погрузчика; 15 – опорные ролики выдвижного конвейера;  
 16 – опорная металлоконструкция погрузчика; 17 – средняя ветвь тягового каната

Вдоль основания стрелы устанавливаются опорные ролики 15. Погрузчик дополнительно снабжается ограничителями рабочих движений стрелы.

При реализации приведенной схемы запасовки необходимо корректно выбрать типоразмер тягового каната, а также определить основные рабочие параметры привода механизма. Поскольку тяговый канат воспринимает нагрузку не только при работе механизма выдвижения, то для определения натяжений в ветвях каната следует дополнительно анализировать стационарные рабочие положения погрузчика при разных вылетах стрелы.

Для определения усилий в канатах рассмотрим расчетные схемы, соответствующие процессу выдвижения стрелы (рис. 3).

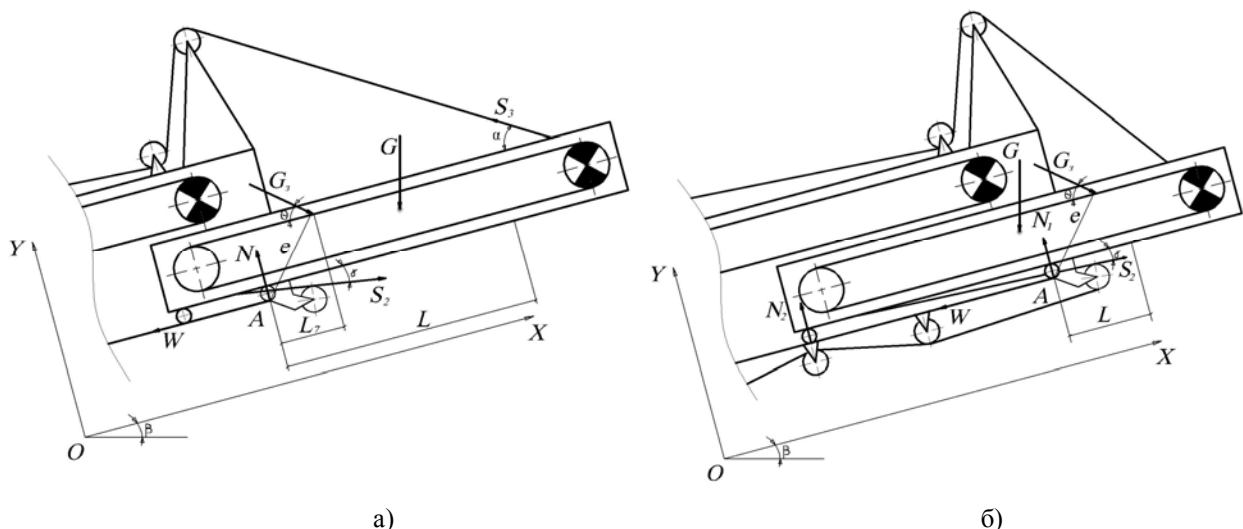


Рис. 3. Расчетная схема к определению усилий в канатах при движении стрелы

При определении усилий в канатах будем придерживаться следующих допущений:

- 1) движение стрелы происходит равномерно, без перекосов;
- 2) сопротивление от трения скольжения между опорными роликами и металлоконструкцией стрелы отсутствует.

Запишем выражения для определения усилий  $S_2$  и  $S_3$ , возникающих в канатах, в зависимости от координаты  $X$  положения стрелы. Сумма проекций усилий на ось  $OX$

$$S_2 \cos\left(\arctg \frac{h_1}{L_2 + L - X}\right) + G_3 \cos \theta - G \sin \beta - S_3 \cos\left(\arctg \frac{h}{L_1 + X}\right) - W = 0. \quad (1)$$

Сумма моментов усилий относительно точки А

$$S_2 \left[ h_2 \cos\left(\arctg \frac{h_1}{L_2 + L - X}\right) - (L_2 + L - X - L_4) \sin\left(\arctg \frac{h_1}{L_2 + L - X}\right) \right] + \\ + G_3 (L_7 \sin \theta + H_2 \cos \theta) + G \cos \beta (-L_5 + X - H_1 \operatorname{tg} \beta) - \\ - S_3 \left[ H \cos\left(\arctg \frac{h}{L_1 + X}\right) + (L_3 + X) \sin\left(\arctg \frac{h}{L_1 + X}\right) \right] = 0. \quad (2)$$

В представленных зависимостях  $G$  – вес стрелы с установленным внутри конвейером и расположенным на нем грузом, приложенный в её центре тяжести;  $G_3$  – усилие загрузки, действующее на конвейер;  $L$  – вылет стрелы;  $L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6, h, h_1, h_2, H, H_1, H_2$  – геометрические параметры, определяемые из схемы компоновки погрузчика при полностью задвинутой стреле (рис. 4).

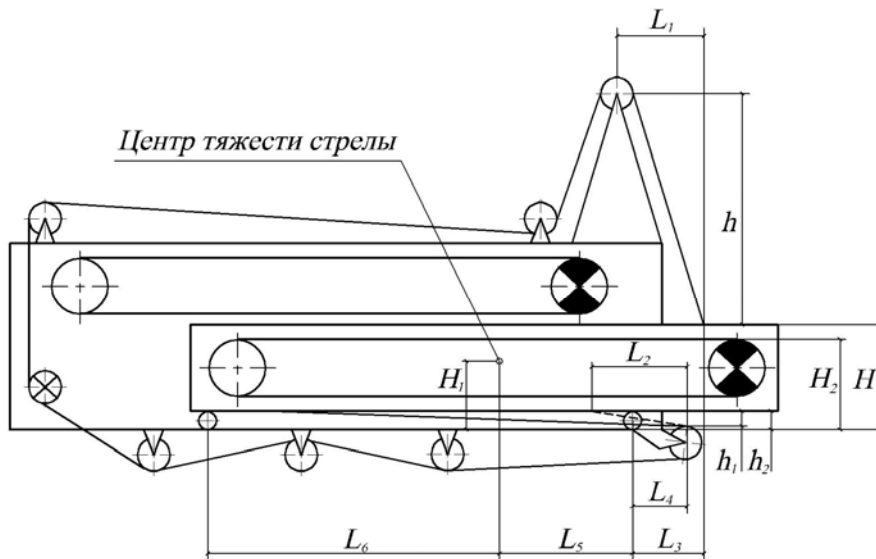


Рис. 4. Схема к определению геометрических параметров стрелы

Для анализа изменения усилий в тяговых канатах зададимся значениями параметров:  $L = 7$  м;  $L_1 = 2,4$  м;  $L_2 = 3$  м;  $L_3 = 2$  м;  $L_4 = 0,5$  м;  $L_5 = 3$  м;  $h = 2,5$  м;  $h_1 = 0,15$  м;  $h_2 = 0,2$  м;  $H = 1,2$  м;  $H_1 = 0,8$  м;  $G = 65,53$  кН;  $G_3 = 1$  кН;  $\beta = 20^\circ$ ;  $\theta = 17^\circ$ .

Зависимости усилий в канатах  $S_2$  и  $S_3$  от величины вылета стрелы в стационарных положениях без учета усилия сопротивления движению  $W$  показаны на рис. 5. Из графика (рис. 5) видно, что усилие в нижней ветви тягового каната  $S_2$  при стационарных режимах работы всегда больше усилия  $S_3$  в верхней ветви при угле наклона погрузчика, отличном от нуля. При достижении усилием  $S_3$  нулевого значения происходит провисание верхней ветви тягового каната. При этом натяжение нижней ветви незначительно уменьшается с изменением вылета.

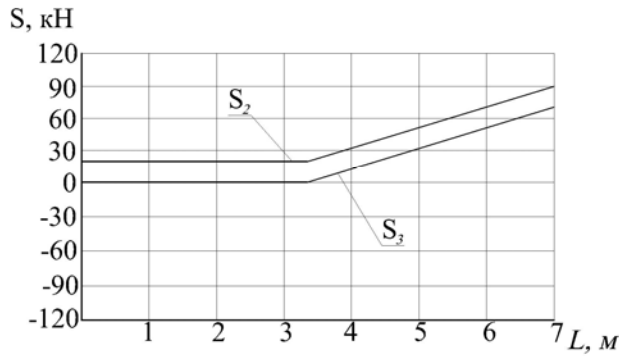


Рис. 5. Зависимости усилий в канатах от величины вылета стрелы в её стационарных положениях

При провисании верхней ветви тягового каната часть нагрузки начинает воспринимать металлоконструкция неподвижной части погрузчика (рис. 3 б). Величина вылета стрелы, при которой усилие в верхней ветви тягового каната становится отличным от нуля, определяется параметром  $L_5$  и углом наклона погрузчика (при увеличении последнего соответствующий вылет стрелы увеличивается).

Сила сопротивления движению  $W$  определяется зависимостью [1]

$$W = \frac{2\mu + fd}{D} \sum N, \quad (3)$$

где  $D$  – диаметр поверхности дорожки качения опорного ролика;  $\mu$  – коэффициент трения качения;  $d$  – диаметр цапфы оси колеса;  $f$  – коэффициент трения в опоре;  $\sum N$  – сумма реакций в точках контакта опорных роликов и металлоконструкции неподвижной части погрузчика.

При выдвигании стрелы усилия в ветвях каната определяются:

- при  $S_3 > 0$  (рис. 3 а) – уравнениями (1 – 3) и уравнением

$$N = S_2 \sin\left(\arctg \frac{h_1}{L_2 + L - X}\right) + G_3 \sin \theta + G \cos \beta - S_3 \sin\left(\arctg \frac{h}{L_1 + X}\right); \quad (4)$$

- при  $S_3 = 0$  (рис. 3 б) – уравнением (3) и системой уравнений

$$\left\{ \begin{aligned} & S_2 \left[ h_2 \cos\left(\arctg \frac{h_1}{L_2 + L - X}\right) - (L_2 + L - X - L_4) \sin\left(\arctg \frac{h_1}{L_2 + L - X}\right) \right] + \\ & + G_3 (L_7 \sin \theta + H_2 \cos \theta) + G \cos \beta (-L_5 + X - H_1 \operatorname{tg} \beta) + N_2 (L_5 + L_6 - X) = 0; \\ & S_2 \cos\left(\arctg \frac{h_1}{L_2 + L - X}\right) + G_3 \cos \theta - G \sin \beta - W = 0; \\ & N_1 + N_2 - G_3 \sin \theta - G \cos \beta - S_2 \sin\left(\arctg \frac{h_1}{L_2 + L - X}\right) = 0. \end{aligned} \right. \quad (5)$$

На рис. 6 показаны зависимости усилий в нижней и верхней ветвях тяговых канатов от величины вылета стрелы при её выдвигании. Величина усилия  $S_3$  в верхней ветви тягового

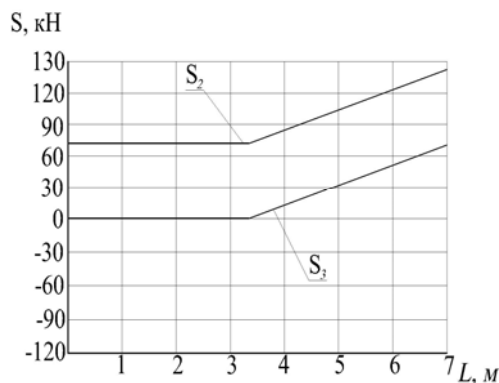


Рис. 6. Зависимости усилий в канатах от величины вылета стрелы при её выдвигании

каната практически не изменяется по сравнению со своим значением, соответствующим стационарному положению стрелы (рис. 5). Усилие  $S_2$  в нижней ветви тягового каната возрастает в среднем на 47% по сравнению со стационарным положением. Данное обстоятельство можно объяснить не только появлением усилия сопротивления движению  $W$ , но и необходимостью преодолевать горизонтальную составляющую усилия  $S_3$  верхней ветви тягового каната. Последняя вынуждена находиться в напряженном состоянии, создаваемом внешними натяжителями, для удержания стрелы от опрокидыва-

ния в выдвинутом положении. Также можно заметить, что в процессе выдвижения стрелы при восприятии весовых нагрузок только ставом погрузчика усилие  $S_2$  является приближенно постоянной величиной.

При задвижении стрелы картина нагрузок существенно меняется. При вращении приводного барабана ослабляется нижняя ветвь тягового каната, что приводит к устранению из расчетных схем (рис. 3) усилия  $S_2$  и изменению направления усилия  $W$ . При этом нижняя ветвь каната сохраняет за собой страховочную функцию, предохраняя погрузчик от самопроизвольного скатывания стрелы.

При углах наклона погрузчика, близких к максимальным, задвижению стрелы способствуют вес стрелы с грузом  $G$  и усилие  $S_3$  в верхней ветви тягового каната. При достижении усилием  $S_3$  нулевого значения движение стрелы осуществляется только под действием горизонтальной составляющей веса груза, которая стремится к нулю при уменьшении угла наклона погрузчика. Если создать в верхней ветви каната дополнительное натяжение, способствующее задвижению стрелы, то возможна ситуация, при которой вертикальная составляющая этого натяжения будет создавать значительные циклические нагрузки на верхнюю часть металлоконструкции шахты стрелы при регулярной работе механизма выдвижения, что потребует её усиления.

Для избежания указанного негативного фактора в конструкции механизма выдвижения предусмотрена средняя ветвь тягового каната (рис. 2, поз. 17). Один её конец соединен с задней частью металлоконструкции стрелы, а другой наматывается на среднюю нарезную часть приводного барабана. Таким образом, усилие  $S_4$ , создаваемое в средней ветви тягового каната, реализует необходимую дополнительную тяговую способность в процессе задвижения стрелы. Стоит дополнительно отметить, что при выдвижении стрелы и работе погрузчика в стационарных положениях усилие  $S_4$  равно нулю и средняя ветвь тягового каната ослаблена.

При задвижении стрелы усилия в ветвях каната определяются:

- при  $S_3 > 0$  и значениях, соответствующих стационарным положениям, уравнением (3) и системой уравнений

$$\begin{cases} S_4 - W + G \sin \beta - G_3 \cos \theta + S_3 \cos \left( \arctg \frac{h}{L_1 + X} \right) = 0; \\ N - G_3 \sin \theta - G \cos \beta - S_3 \sin \left( \arctg \frac{h}{L_1 + X} \right) = 0; \end{cases} \quad (6)$$

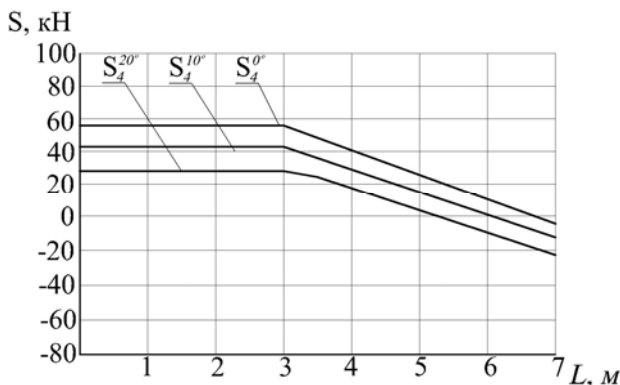


Рис. 7. Зависимости усилий в средней ветви тягового каната от величины вылета стрелы при соответствующих углах наклона погрузчика

- при  $S_3 = 0$  – уравнением (3) и системой уравнений

$$\begin{cases} S_4 - W + G \sin \beta - G_3 \cos \theta = 0; \\ (N_1 + N_2) - G_3 \sin \theta - G \cos \beta = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Графики изменения тягового усилия  $S_4$  средней ветви тягового каната в зависимости от вылета стрелы при разных углах наклона погрузчика представлены на рис. 7.

Отрицательная зона графиков указывает на отсутствие необходимости приложения усилия  $S_4$  к стреле. Усилия  $S_3$  и горизонтальной составляющей усилия от веса стрелы достаточно для преодоления со-

противления движению  $W$ . При нулевом угле наклона погрузчика путь самопроизвольного движения стрелы составляет 0,38 м, при угле наклона  $10^\circ$  – 0,95 м, при угле наклона  $20^\circ$  –

1,55 м. Максимальных значений тяговые усилия  $S_4$  достигают в момент полного восприятия нагрузки от веса стрелы металлоконструкцией погрузчика.

Из анализа зависимостей (3 – 7) можно сделать следующие выводы:

1) максимальное значение усилия в нижней ветви каната  $S_2$  возникает при наибольшем угле наклона погрузчика и соответствует окончанию процесса выдвижения стрелы;

2) максимальное усилие в верхней ветви каната  $S_3$  возникает при минимальном угле наклона погрузчика, соответствует максимальному вылету стрелы и имеет приблизительно одинаковые значения при выдвижении-задвигании стрелы, а также при стационарной работе погрузчика;

3) максимальное значение усилия в средней ветви тягового каната  $S_4$  возникает при наименьшем угле наклона стрелы и соответствует окончанию процесса её задвигания.

Предложенными рекомендациями и зависимостями целесообразно пользоваться при небольших заданных скоростях движения стрелы. В противном случае необходимо проводить дополнительные исследования с целью определения динамических составляющих тяговых усилий в канатах при пуске-торможении механизма изменения вылета.

В целом предложенная схема механизма изменения вылета стрелы при незначительно больших капитальных затратах (по сравнению со схемой погрузчика ирландской компании «Telestack Limited») имеет значительное преимущество при эксплуатации в связи с устранением тягового каната из желоба конвейера, установленного на стреле.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по кранам / под ред. А.И. Дукельского. – Л.: Машиностроение, 1973. – Т.2. – 472 с.

Материал поступил в редколлегию 2.12.14.