

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И УСКОРЕНИЯ ПЕРЕДВИЖНОЙ СТАНЦИИ ВО ВРЕМЯ ИЗМЕНЕНИЯ ДЛИНЫ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ РАБОТАЮЩЕГО ПРОХОДЧЕСКОГО КОНВЕЙЕРА

Гаврюков А. В.

Представлены исследования по определению теоретических зависимостей скорости и ускорения передвижной станции во время не равноускоренного увеличения длины транспортирования работающего конвейера. Установлено, что изменения скорости и ускорения передвижной станции при не равноускоренном изменении длины транспортирования описываются экспотенциальными кривыми и зависят от параметров электродвигателя, редуктора, конвейера, а также присутствующих нагрузженностей и условий работы.

Представлені дослідження з визначення теоретичних залежностей швидкості й прискорення пересувної станції під час не рівноприскореного збільшення довжини транспортування працюючого конвеєра. Установлено, що зміни швидкості й прискорення пересувної станції при не рівноприскореній зміні довжини транспортування описуються експотенциальними кривими й залежать від параметрів електродвигуна, редуктора, конвеєра, а також присутніх нагрузженностей і умов роботи.

There has been represented the research concerning the theoretical dependences of the speed and acceleration determination of the mobile station during the non-uniform acceleration of the conveyance length change of the operating tunneling conveyor. There has been determined that the speed and acceleration changes during the non-uniform acceleration of the conveyance length change are described with the exponential graphs and depend on electric motor, gear reducer, conveyor parameters as well as the present loading and operating conditions.

Гаврюков А. В.

зав. каф. ПТСДМО и ААХ ДонНАСА
gavrukoff@rambler.ru

ДонНАСА – Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Краматорск.

УДК 621.807.212.7

Гаврюков А. В.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И УСКОРЕНИЯ ПЕРЕДВИЖНОЙ СТАНЦИИ ВО ВРЕМЯ ИЗМЕНЕНИЯ ДЛИНЫ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ РАБОТАЮЩЕГО ПРОХОДЧЕСКОГО КОНВЕЙЕРА

Применение в скоростных проходческих забоях ленточных конвейеров с изменяющейся длиной транспортирования [1] позволяет увеличить машинное время проходческого комбайна за счет сокращения технологических операций связанных с удлинением забойного конвейера.

При изменении длины транспортирования на барабане передвигной станции возникает увеличение натяжения ленты связанное с изменением скорости и ускорения движения грузенной и порожней ветви зависящее от скорости и ускорения передвигной станции. Учет возникающих изменений натяжения ленты при проектировании ленточных конвейеров с изменяющейся длиной транспортирования позволяет обеспечить безаварийную работу транспортирующей установки.

В работе [1] приведены зависимости для определения скорости порожней и грузенной ветви, изменяющего длину работающего проходческого конвейера, приняв допущение, что скорость перемещения передвигной станции установившейся и равна скорости проходческого комбайна. Вместе с тем, выполненные в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры экспериментальные исследования показали, что возникающее изменение натяжения ленты зависит от скорости и ускорения передвигной станции. В работе [2] приведенные исследования позволяющие определить возникающие изменение натяжения ленты во время удлинения работающего конвейера при равноускоренном изменении длины транспортирования. Очевидно, что изменять длину транспортирования равноускоренно довольно накладно, а в некоторых случаях не возможно. В связи с этим возникает необходимость в выявлении зависимостей позволяющих определять скорость и ускорение передвигной станции при не равноускоренном удлинении конвейера.

Цель работы – выявить зависимости позволяющие определить скорость и ускорение передвигной станции, закрепленной тяговой цепью за проходческий комбайн, во время перемещения его на забой.

Скорость движения ленты работающего конвейера значительно больше скорости перемещения проходческого комбайна.

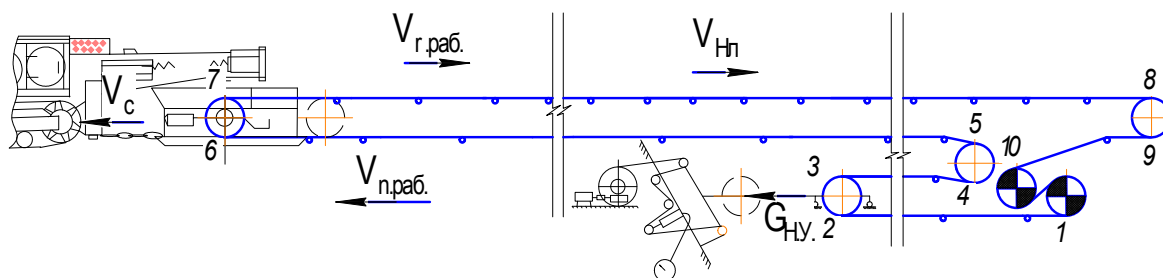


Рис. 1. Схема изменяющего длину работающего конвейера

Очевидно, что вектор скорости движения передвигной станции и вектор скорости движения ленты создаваемый приводом работающего конвейера коллинеарны.

Отсюда

$$V_{г.раб.} = V_{Нл} - V_{с.раб.} \quad (1)$$

$$V_{п.раб.} = V_{Нл} + V_{с.раб.} \quad (2)$$

где $V_{Нл}$ – скорость движения ленты, создаваемая приводом конвейера, (м/с).

При определении скорости и ускорения передвижной станции во время изменения длины транспортирования работающего конвейера воспользуемся дифференциальной формой теоремы об изменении кинетической энергии системы:

$$dT/dt = N^e + N^i, \quad (3)$$

где N^e , N^i – сумма мощностей всех внешних и внутренних сил, приложенных к системе соответственно, (Нм/с).

Сумма работ внутренних сил, а, следовательно, и мощностей внутренних сил, принимаем равной нулю $N^i = 0$.

Изменение кинетической энергии механической системы проходческий комбайн – работающий ленточный конвейер определим по зависимости:

$$T = T_{\text{прох.ком.}} + T_{\text{ход.ред.}} + T_{\text{эл.дв.}} + T_{\text{кон.}}, \quad (4)$$

где $T_{\text{прох.ком.}}$ – изменение кинетической энергии проходческого комбайна, (Нм); $T_{\text{ход.ред.}}$ – изменение кинетической энергии редуктора ходового механизма проходческого комбайна, (Нм); $T_{\text{эл.дв.}}$ – изменение кинетической энергии электродвигателя ходового механизма проходческого комбайна, (Нм); $T_{\text{кон.}}$ – изменение кинетической энергии перемещающихся элементов работающего конвейера, (Нм).

Из уравнений (1), (2) очевидно, что при расчете изменения элементов кинетической энергии работающего конвейера во всех случаях следует подставлять скорость передвижной станции $V_{\text{с.раб.}}$.

Изменение кинетической энергии работающего конвейера во время изменении длины транспортирования равно:

$$T_{\text{кон.раб.}} = T_{r.\text{раб.}} + T_{n.\text{раб.}} + T_{\text{вын.бар.раб.}} + T_{\text{пр.кон.раб.}} + T_{\text{под.бар.раб.}} + T_{\text{непод.бар.раб.}} + T_{\text{бар.ст.раб.}} + T_{\text{под.кар.раб.}} + T_{\text{ст.раб.}}, \quad (5)$$

где $T_{r.\text{раб.}}$, $T_{n.\text{раб.}}$, $T_{\text{вын.бар.раб.}}$, $T_{\text{пр.кон.раб.}}$, $T_{\text{под.бар.раб.}}$, $T_{\text{непод.бар.раб.}}$, $T_{\text{бар.ст.раб.}}$, $T_{\text{под.кар.раб.}}$, $T_{\text{ст.раб.}}$ – изменения кинетической энергии: грузовой ветви, порожней ветви, выносного барабана, привода конвейера, подвижного и не подвижного барабанов телескопического устройства, барабана передвижной станции, подвижной каретки телескопического устройства, передвижной станции работающего конвейера соответственно, (Нм).

Изменение кинетической энергии грузовой ветви работающего конвейера

$$T_{r.\text{раб.}} = 0,5 \cdot V_{\text{с.раб.}}^2 \cdot \Omega_r l_{7-8} / g, \quad (6)$$

где Ω_r – удельное статическое сопротивление движению грузовой ветви (Н/м); l_{7-8} – длина рассматриваемого участка конвейера, (м).

Изменение кинетической энергии порожней ветви работающего конвейера:

$$T_{n.\text{раб.}} = 0,5 \left[\Omega'_n l_{9-10} V_{\text{с.раб.}}^2 + \Omega_n l_{1-2} V_{\text{с.раб.}}^2 + \Omega''_n l_{3-4} V_{\text{с.раб.}}^2 + \Omega_n l_{5-6} V_{\text{с.раб.}}^2 \right] / g,$$

где Ω_n – удельное статическое сопротивление движению порожней ветви (Н/м); l_{7-8} – длина участка конвейера, (м).

Приняв допущение, что значения удельные статические сопротивления движению порожней ветви на различных участках конвейера равны $\Omega_n = \Omega'_n = \Omega''_n$ получим:

$$T_{n.\text{раб.}} = 0,5 \Omega_n V_{\text{с.раб.}}^2 (l_{9-2} + l_{3-6}) / g. \quad (7)$$

Изменение кинетической энергии выносного барабана работающего конвейера:

$$T_{\text{вын.бар.раб.}} = V_{\text{с.раб.}}^2 \cdot m_{\text{бар.}} / 4, \quad (8)$$

где $m_{\text{бар.}}$ – масса барабана, (кГ).

Изменение кинетической энергии привода работающего конвейера, в состав которого вошли: приводные барабаны, редуктор и электродвигатель:

$$T_{\text{пр.кон.раб.}} = m_{\text{пр.пр.кон.}} V_{\text{с.раб.}}^2 / 2, \quad (9)$$

где $m_{\text{пр.пр.кон.}}$ – приведенная масса привода конвейера, (кГ) [2].

Изменение кинетической энергии барабана подвижной каретки телескопического устройства, работающего конвейера:

$$T_{\text{под.бар.раб.}} = (V_{\text{с.раб.}} - V_{\text{с.раб.}})^2 m_{\text{бар.}} / 4 = 0. \quad (10)$$

Изменение кинетической энергии подвижной каретки телескопического устройства работающего конвейера:

$$T_{\text{под.кар.раб.}} = 0,5 G_{\text{Н.У.}} V_{\text{с.раб.}}^2 / g, \quad (11)$$

где $G_{\text{Н.У.}}$ – масса подвижной каретки телескопического устройства, отождествляемая с усилием натяжного устройства, (кГ).

Изменение кинетической энергии неподвижного барабана телескопического устройства работающего конвейера:

$$T_{\text{непод.бар.раб.}} = V_{\text{с.раб.}}^2 \cdot m_{\text{бар.}} / 4. \quad (12)$$

Изменение кинетической энергии барабана передвигной станции работающего конвейера:

$$T_{\text{бар.ст.раб.}} = (V_{\text{с.раб.}} - V_{\text{с.раб.}})^2 m_{\text{бар.}} / 4 = 0 \quad (13)$$

Изменение кинетической энергии передвигной станции конвейера работающего конвейера:

$$T_{\text{ст.раб.}} = m_{\text{ст.}} V_{\text{с.раб.}}^2 / 2. \quad (14)$$

Подставив уравнения (6–14) в уравнение (5) получим:

$$T_{\text{кон.раб.}} = V_{\text{с.раб.}}^2 \cdot [(\Omega_r l_{7-8} + \Omega_n l_{9-6} + G_{\text{Н.У.}}) / g + m_{\text{пр.пр.кон.}} + m_{\text{бар.}} + m_{\text{ст.}}] / 2. \quad (15)$$

Изменения кинетической энергии проходческого комбайна при работающем конвейере:

$$T_{\text{прох.ком.}}^{\text{раб.}} = m_{\text{прох.ком.}} V_{\text{с.раб.}}^2 / 2. \quad (16)$$

Изменения кинетической энергии редуктора ходового механизма проходческого комбайна при работающем конвейере. Для простоты расчета принято допущение, что редуктор двухступенчатый, (м/с).

$$T_{\text{ход.ред.}} = \omega_{\text{ход.эл.дв.}}^2 \cdot R_{1\text{кол.ред.}}^2 \cdot (m_{1\text{кол.ред.}} + m_{2\text{кол.ред.}} / i_{\text{ход.ред.}}) / 4, \quad (17)$$

где $\omega_{\text{ход.эл.дв.}} = 2V_{\text{с.раб.}} / R_{\text{зв.}} i_{\text{ход.ред.}}$ – частота вращения ходового электродвигателя, (1/об); $R_{1\text{кол.ред.}}$ – радиус первого зубчатого колеса редуктора, (м); $m_{1\text{кол.ред.}}$, $m_{2\text{кол.ред.}}$ – масса соответственно первого и второго зубчатого колеса редуктора, (кГ); $R_{\text{зв.}}$ – радиус траковой приводной звездочки ходового редуктора проходческого комбайна, (м). $i_{\text{ход.ред.}}$ – передаточное число ходового редуктора.

Изменения кинетической энергии электродвигателя ходового механизма проходческого комбайна при работающем конвейере:

$$T_{ход.эл.дв.} = m_{р.эл.дв.} R_{р.эл.дв.}^2 \omega_{ход.эл.дв.}^2 / 4, \quad (18)$$

где $R_{р.ход.эл.дв.}$ – радиус ротора ходового электродвигателя проходческого комбайна, (м).

Подставим уравнения (15)–(18) в уравнение (4) определим изменение кинетической энергии механической системы проходческий комбайна – работающий ленточный конвейер:

$$T_{раб.} = 0,5 \cdot V_{с.раб.}^2 \left[4 \left(J_{р.эл.дв.} + J_{1.кол.ред.} + J_{2.кол.ред.} i_{ход.ред.} \right) / \left(R_{зв.}^2 i_{ход.ред.}^2 \right) + m_{прох.ком.} + m_{Н.У.} + m_{ст.} + m_{пр.пр.кон.} + m_{бар.} + (\Omega_r l_{7-8} + \Omega_n l_{9-6}) / g \right]. \quad (19)$$

Перейдем к вычислению мощностей.

Сумма мощностей всех внешних сил $N_{раб.}^e$ равна:

$$N_{раб.}^e = N_{эл.дв.} + N_{сопр.}^{раб.}; \quad (20)$$

$$N_{сопр.}^{раб.} = \left(N_{прох.ком.}^{раб.} + N_{кон.}^{раб.} \right) \cos 180^0. \quad (21)$$

С учетом уравнения (15) мощность сил сопротивлений при движении элементов конвейера с работающим приводом:

$$N_{кон.}^{раб.} = V_{с.раб.} \left[\Omega_r l_{7-8} + \Omega_n l_{9-6} + G_{Н.У.} + g \left(m_{пр.пр.кон.} + m_{бар.} + m_{ст.} \right) \right]. \quad (22)$$

Мощность сил сопротивлений во время перемещения проходческого комбайна при работающем конвейере

$$N_{прох.ком.}^{раб.} = m_{прох.ком.} g V_{с.раб.}. \quad (23)$$

Подставив уравнения (22), (23) в уравнение (21) получим:

$$N_{сопр.}^{раб.} = -V_{с.раб.} \left[\Omega_r l_{7-8} + \Omega_n l_{9-6} + G_{Н.У.} + g \left(m_{прох.ком.} + m_{пр.пр.кон.} + m_{бар.} + m_{ст.} \right) \right]. \quad (24)$$

Мощность сил создающих вращающий момент ходового асинхронного электродвигателя $M_{ход.эл.дв.}$ при работающем конвейере определим по формуле:

$$N_{ход.эл.дв.} = M_{ход.эл.дв.} \omega_{ход.эл.дв.} = \left(M_p - \beta_{эл.дв.} \omega_{ход.эл.дв.} \right) \omega_{ход.эл.дв.},$$

или

$$N_{ход.эл.дв.}^{раб.} = 2V_{с.раб.} \left[M_p - 2V_{с.раб.} \beta_{эл.дв.} / \left(R_{зв.} i_{ход.ред.} \right) \right] / \left(R_{зв.} i_{ход.ред.} \right), \quad (25)$$

где M_p – пусковой момент ходового электродвигателя, (Нм); $\beta_{эл.дв.}$ – коэффициент, характеризующий наклон механической характеристики двигателя ходового механизма проходческого комбайна, (Нм/с).

Отсюда

$$N_{раб.}^e = 2V_{с.раб.} \left[M_p - 2V_{с.раб.} \beta_{эл.дв.} / \left(R_{зв.} i_{ход.ред.} \right) \right] - V_{с.раб.} \left[\Omega_r l_{7-8} + \Omega_n l_{9-6} + G_{Н.У.} + g \left(m_{прох.ком.} + m_{пр.пр.кон.} + m_{бар.} + m_{ст.} \right) \right] / \left(R_{зв.} i_{ход.ред.} \right). \quad (26)$$

Подставив уравнения (26) и продифференцированное по t уравнение (19) в уравнение (3) получим:

$$4(J_{p.эл.дв.} + J_{1.кол.ред.} + J_{2.кол.ред.} i_{ход.ред.}) / (R_{зв.}^2 i_{ход.ред.}^2) + m_{п.р.ком.} + m_{H.Y.} + m_{см.} + m_{п.р.кон.} + m_{бар.} + (\Omega_r l_{7-8} + \Omega_n l_{9-6}) / g \Big] dV_{с.раб.} / dt = \tag{27}$$

$$= 2 \left[M_p - 2V_{с.раб.} \beta_{эл.дв.} / (R_{зв.} i_{ход.ред.}) \right] / (R_{зв.} i_{ход.ред.}) - \Omega_r l_{7-8} + \Omega_n l_{9-6} + G_{H.Y.} + g(m_{п.р.ком.} + m_{п.р.кон.} + m_{бар.} + m_{см.})$$

$$\mathfrak{S}_{раб.} dV_{с.раб.} / dt = M_p - \mathfrak{S}_{раб.} - \mathfrak{R} V_{с.раб.} \tag{28}$$

$$\mathfrak{R} = 2\beta_{эл.дв.} / (R_{зв.} i_{ход.ред.}) \tag{29}$$

$$\mathfrak{S}_{раб.} = 2(J_{p.эл.дв.} + J_{1.кол.ред.} + J_{2.кол.ред.} i_{ход.ред.}) / (R_{зв.} i_{ход.ред.}) + R_{зв.} i_{ход.ред.} (m_{п.р.ком.} + m_{H.Y.} + m_{см.} + m_{п.р.кон.} + m_{бар.} + \Omega_r l_{7-8} / g + \Omega_n l_{9-6} / g) / 2 \tag{30}$$

$$\mathfrak{S}_{раб.} = R_{зв.} i_{ход.ред.} [\Omega_r l_{7-8} + \Omega_n l_{9-6} + g(m_{H.Y.} + m_{п.р.ком.} + m_{п.р.кон.} + m_{бар.} + m_{см.})] / 2 \tag{31}$$

Решив уравнение (28) определим закон изменения скорости передвижной станции работающего конвейера:

$$V_{с.раб.} = (M_p - \mathfrak{S}_{раб.}) [1 - \exp(-\mathfrak{R}t / \mathfrak{S}_{раб.})] / \mathfrak{R} \tag{32}$$

Продифференцировав по t уравнение (32) определим ускорение передвижной станции при работающем конвейере.

$$j_{с.раб.} = dV_{с.раб.} / dt = (M_p - \mathfrak{S}_{раб.}) \exp(-\mathfrak{R}t / \mathfrak{S}_{раб.}) / \mathfrak{R} \tag{33}$$

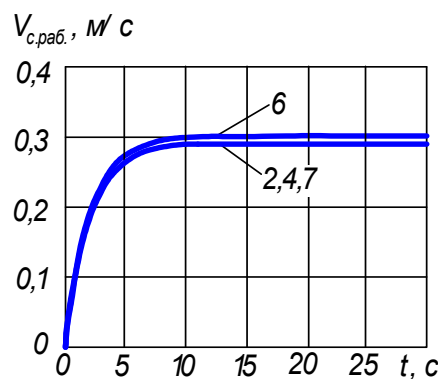
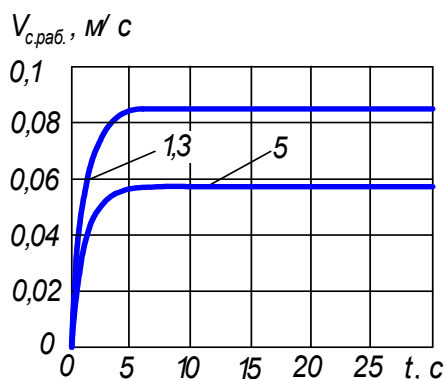


Рис. 2. Графики изменения скорости передвижной станции, во время изменения длины работающего конвейера

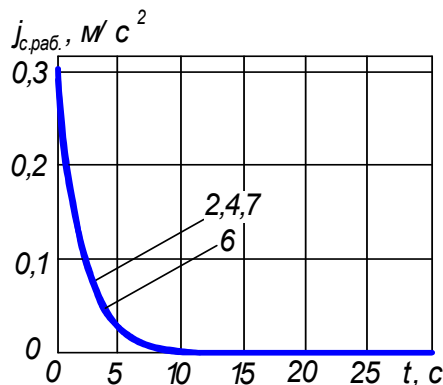
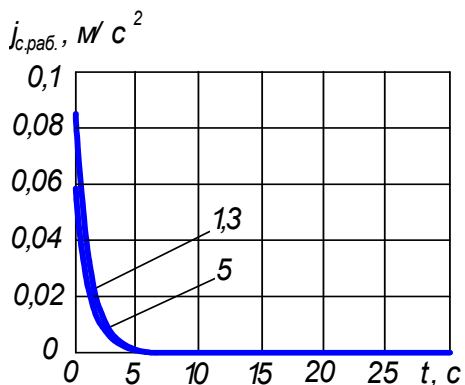


Рис. 3. Графики изменения ускорения передвижной станции, во время изменения длины работающего конвейера

На рис. 2 и 3 приведены графики изменения скорости и ускорения передвижной станции во время изменения длины работающего конвейера для следующих параметров: $l_{9-6} = 915$ м, $l_{9-2} = 65$ м, $l_{7-8} = 800$ м, $\beta_{эл.дв.} = 2$, $m_{прох.ком.} = 35\,000$ кг, $m_{бар.} = 100$ кг, $D_{зв.} = 1,0$ м, $J_{1кол.ред.} = 0,01$ кгм², $J_{2кол.ред.} = 25$ кгм², $m_{пр.пр.кон.} = 1\,250$ кг; 1- $\beta = 20^\circ$, $l_{3-6} = 835$ м, $\Omega_n = 60,55$ Н/м, $\Omega_r = 154,65$ Н/м, $G_{H.Y.} = 7\,770$ Н, $i_p = 0,0064$, $M_p = 1\,000$ Н, $V_{Hл} = 1,6$ м/с; 2- $\beta = 20^\circ$, $l_{3-6} = 100$ м, $\Omega_n = 60,55$ Н/м, $\Omega_r = 154,65$ Н/м, $G_{H.Y.} = 7\,770$ Н, $i_p = 0,001$, $M_p = 1\,300$ Н, $V_{Hл} = 1,6$ м/с; 3- $\beta = 20^\circ$, $l_{3-6} = 835$ м, $\Omega_n = 60,55$ Н/м, $\Omega_r = 154,65$ Н/м, $G_{H.Y.} = 7\,770$ Н, $i_p = 0,0064$, $M_p = 1\,000$ Н, $V_{Hл} = 1,6$ м/с; 4- $\beta = 20^\circ$, $l_{3-6} = 835$ м, $\Omega_n = 60,55$ Н/м, $\Omega_r = 154,65$ Н/м, $G_{H.Y.} = 7\,770$ Н, $i_p = 0,001$, $M_p = 1\,300$ Н, $V_{Hл} = 1,6$ м/с; 5- $\beta = 0^\circ$, $l_{3-6} = 835$ м, $\Omega_n = 5,326$ Н/м, $\Omega_r = 12,514$ Н/м, $G_{H.Y.} = 6\,380$ Н, $i_p = 0,0064$, $M_p = 700$ Н, $V_{Hл} = 1,6$ м/с; 6- $\beta = 0^\circ$, $l_{3-6} = 835$ м, $\Omega_n = 5,326$ Н/м, $\Omega_r = 12,514$ Н/м, $G_{H.Y.} = 6\,380$ Н, $i_p = 0,001$, $M_p = 1\,300$ Н, $V_{Hл} = 1,6$ м/с; 7- $\beta = 20^\circ$, $l_{3-6} = 835$ м, $\Omega_n = 60,55$ Н/м, $\Omega_r = 154,65$ Н/м, $G_{H.Y.} = 7\,770$ Н, $i_p = 0,001$, $M_p = 1\,300$ Н, $V_{Hл} = 2$ м/с.

ВЫВОДЫ

1. Во время перемещения на забой проходческим комбайном передвижной станции, ленточного конвейера с изменяющейся длиной транспортирования, ходовые двигатели комбайна воспринимают дополнительную нагрузку.
2. В зависимости от параметров привода ходовых механизмов комбайна и приложенной со стороны передвижной станции нагрузки скорость и ускорение ходовых электродвигателей в пусковом режиме могут быть различны.
3. Изменения пусковой скорости и ускорения ходовых электродвигателей, во время изменения длины транспортирования работающего конвейера, носят экспоненциальный характер и пропорционально отображают изменения скорости и ускорения передвижной станции во время изменения длины транспортирования конвейера.
4. Во время пуска ходовых электродвигателей комбайна скорость перемещения передвижной станции работающего удлиняющегося конвейера возрастает от нуля до установившейся, ускорение изменения скорости от максимального значения до нуля.
5. С учетом полученных зависимостей можно определить возникающую статическую и динамическую загруженность ленты во время изменения длины транспортирования работающего конвейера в любой момент времени.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврюков А. В. Теория и практика использования ленточных конвейеров, работающих при изменяющейся длине / А. В. Гаврюков – Макеевка : ДонНАСА, 2007. – 119 с.
2. Гаврюков А. В. Математическая модель процесса распространения упругих деформаций, в ленте конвейера с изменяющейся длиной транспортирования. / А. В. Гаврюков, А. В. Третьяк // Наукові праці ДНТУ. Серія «Гірничо-електромеханічна». – 2014. – Вип. 1 (27). – С. 40–76.

Статья поступила в редакцию 24.03.2015 г.