ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.86

© П. В. Бословяк, канд. техн. наук, доцент
(Московский государственный технический
университет имени Н. Э. Баумана)

E-mail: boslovyak@bmstu.ru

© Г. А. Емельянова, д-р техн. наук, профессор
(Российский университет транспорта (МИИТ))

E-mail: ga_emel@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-4-143-149

© P. V. Boslovyak, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Bauman Moscow State Technical University)

E-mail: boslovyak@bmstu.ru

© G. A. Emelyanova, Dr. Sci. Tech., Professor
(Russian University of Transport (MIIT))

E-mail: ga_emel@mail.ru

РАЗРАБОТКА ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МАССЫ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ПРИВОДНОЙ СТАНЦИИ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА С ПОДВЕСНОЙ ЛЕНТОЙ

DEVELOPMENT OF OPTIMIZED MATHEMATICAL MODEL OF THE POWER-DRIVE STATION STEEL MASS STRUCTURE OF THE BELT-TYPE CONVEYOR WITH SUSPENDED BELT

Представлена разработанная методика оптимального проектирования металлоконструкции приводной станции конвейера с подвесной лентой. Данная методика включает целевую функцию металлоконструкции и накладываемые на нее системы конструктивных, прочностных и жесткостных ограничений. На основании представленной методики оптимального проектирования производились расчеты металлоконструкции приводной станции конвейера с подвесной лентой для различных величин производительности. В результате получены данные оптимальных значений размеров деталей металлоконструкции приводной станции и соответствующие им значения масс.

Ключевые слова: конвейер, металлоконструкция, целевая функция, математическая модель.

The article presents the developed method of optimal design of the power-drive station steel mass structure of conveyor equipped with suspended belt. This method includes the goal function of steel structure and the systems of structural, strength and stiffness restricts imposed on it. The basis on the presented optimal design method, calculations of the steel structure of the conveyor power-drive station equipped with suspended belt for different performance values were performed. As a result, there have been obtained the data on the optimum size values of steel structure parts of the power-drive station and the corresponding mass values.

Keywords: conveyor, steel structure, goal function, mathematical model.

На сегодняшний день машиностроительная отрасль претерпевает существенные изменения. Разрабатываются новые методики расчета, способы проектирования и конструирования, процессы изготовления машин и их отдельных узлов [8, 12, 15, 17].

Машины непрерывного транспорта являются неотъемлемой составляющей практически каждого производства. Происходит их постоянное развитие. Так, в конце XX столетия учеными и

инженерами был разработан специальный вид конвейерного транспорта — конвейер с подвесной лентой, развитие и совершенствование которого продолжается по настоящее время [5, 6, 10, 11, 14].

Конвейер с подвесной лентой (КПЛ) относится к специальному типу машин непрерывного транспорта [1, 2]. Его конструкция (рис. 1) имеет отличительную особенность по сравнению с традиционным ленточным конвейером [3, 4]. Она

Рис. 1. Конвейер с подвесной лентой [1]: 1 — металлоконструкция; 2 — привод; 3 — барабан натяжной; 4 — барабан приводной; 5 — лента; 6 — трубчатые направляющие; 7 — узел крепления; 8 — кронштейн; 9 — каток; 10 — подвеска; 11 — ленточка; 12 — груз

закljučается в отсутствии стационарно установленных роликовых опор вдоль всей трассы конвейера. При этом конвейерная лента 5 крепится к подвескам 10, катки 9 которых обеспечивают движение по трубчатым направляющим 6, перемещающая насыпной груз (см. рис. 1).

Приводная станция (рис. 2) является важным конструктивным узлом КПЛ, поэтому при проектировании целесообразно стремиться к снижению массы ее металлоконструкции (МК), что

Рис. 2. Приводная станция конвейера с подвесной лентой

может быть достигнуто проведением процедуры оптимизации [16, 18].

Целью исследования является разработка оптимизационной математической модели металлоконструкции приводной станции конвейера с подвесной лентой. Для достижения поставленной цели необходимо составление целевой функции, а также связанных с ней ограничений по прочности, жесткости и по конструкции, которые позволят спроектировать оптимальный по массе вариант МК приводной станции на начальном этапе проектирования [9].

Процедура оптимального проектирования МК приводной станции включает формирование конструкции, состоящей из избыточных стержней и раскосов (рис. 3).

В дальнейшем данные конструктивные элементы (стержни и раскосы) анализируются в следующей последовательности:

- определяется ряд допускаемых профилей поперечных сечений;
- формируются векторы варьируемых (управляемых в процессе оптимизации) и не варьируемых (не управляемых в процессе оптимизации) параметров;
- осуществляются прочностные и жесткостные расчеты, позволяющие определить не-

Рис. 3. Металлоконструкция приводной станции специального ленточного конвейера [9]: 1, 3–7, 9–11, 13–15 — стержни; 2, 8, 12, 16, 17 — раскосы

обходимость наличия (отсутствия) данных элементов.

Конструкция приводной станции на рис. 3 учитывает возможность установки двух параллельно работающих синхронизированных приводных устройств (конструктивные элементы 7–10) требуемой мощности вместо одного более мощного приводного механизма. Достоинство применения двух приводов заключается в уравновешивании массы МК приводной станции.

В конструкцию приводной станции могут быть заложены стержневые элементы различного поперечного сечения. Предпочтительными при проектировании считаются круглая и прямоугольная трубы, уголок и швеллер (рис. 4) [9, 13]. Стоит отметить, что по конструк-

Рис. 4. Профили поперечного сечения стержневых элементов металлоконструкции [9, 13]: а — прямоугольная труба; б — швеллер; в — уголок; г — круглая труба

тивным соображениям в МК приводной станции (см. рис. 3) использование профилей отдельных стержней и раскосов нецелесообразно, что объясняется сложностью соединения поверхностей деталей друг с другом.

Сформирована универсальная расчетная схема (рис. 5) МК приводной станции КПЛ. Данная схема учитывает нагрузки, действующие на металлоконструкцию конвейера.

Формирование вектора варьируемых параметров $\{x\}^T$ заключается в определении таких величин, геометрические размеры которых могут меняться в процессе оптимизации. Для расчетной схемы приводной станции (см. рис. 5) в зависимости от принятого поперечного сечения стержней 1–17 (см. рис. 3, 4) данный вектор имеет вид [9]:

$$\{x\}^T = \{x_1, x_2, \dots, x_w\} = \{l_2^r, l_6^r, \dots, l_{12}^r, l_{16}^r, l_{17}^r, t_1, t_2, \dots, t_{17}, a_1, a_2, \dots, a_{17}, b_1, b_2, \dots, b_{17}, e_1, e_2, \dots, e_{10}, e_{12}, \dots, e_{17}, d_1, d_2, \dots, d_{10}, d_{12}, \dots, d_{17}, f_1, f_2, \dots, f_{10}, \dots, f_{12}, \dots, f_{17}, c_1, c_2, \dots, c_{10}, c_{12}, \dots, c_{17}, s_1, s_2, s_3, s_5, \dots, s_{10}, s_{12}, s_{15}, \dots, s_{17}, h_1, h_2, h_3, h_5, \dots, h_{10}, h_{12}, h_{15}, h_{17}, g_1, g_2, g_3, g_5, \dots, g_{10}, g_{12}, g_{15}, g_{17}, k_1, k_2, k_3, k_5, k_8, k_{10}, k_{12}, \dots, k_{17}, D_1, D_2, D_5, D_8, D_{10}, D_{12}, \dots, D_{17}\}, \quad (1)$$

Рис. 5. Универсальная расчетная схема металлоконструкции приводной станции специального ленточного конвейера [9]: R — нагрузка от приводного барабана; P — нагрузка от приводного устройства; N — нагрузка от конвейерной ленты; $T(S)$ — нагрузка от продольных сил на направляющие со стороны подвесок, ленты и груза на грузонесущей (обратной) ветви; $F(G)$ — нагрузка от поперечных сил на направляющие со стороны подвесок, ленты и груза на грузонесущей (обратной) ветви

где w — число варьируемых параметров; r — показатель формы поперечного сечения ($r = rt$ — прямоугольная труба; $r = ch$ — швеллер; $r = ai$ — уголок; $r = rp$ — круглая труба) (см. рис. 4).

Неварьируемые параметры накладываются на следующие геометрические размеры конструктивных элементов металлоконструкции приводного барабана:

- стержни 1 и 15 (см. рис. 3), зависящие от длины обечайки барабана;

- стержни 3–5, 13 и 14, учитывающие диаметр барабана.

Поэтому вектор неуправляемых параметров $\{z\}^T$ имеет вид:

$$\{z\}^T = \{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7\} = \{l_1^r, l_3^r, l_4^r, l_5^r, l_{13}^r, l_{14}^r, l_{15}^r\}. \quad (2)$$

Задача оптимизации приводной станции КПЛ с учетом установления параметров (1) и (2) сводится к минимизации целевой функции вида [9]:

$$\begin{aligned} TS(\{x_i^r\}, \{z_i^r\}) = & \{j_1^{rt} 8\rho_1 z_1^{rt} x_1^{rt} (x_2^{rt} + x_3^{rt} - 2x_1^{rt}) + \\ & + j_1^{ch} 4\rho_1 z_1^{ch} [x_1^{ch} (x_2^{ch} - 2x_3^{ch}) + 2x_4^{ch} x_3^{ch}] + \\ & + j_1^{ai} 4\rho_1 z_1^{ai} x_1^{ai} (x_2^{ai} + x_3^{ai} - x_1^{ai}) + j_1^{rp} 4\rho_1 z_1^{rp} x_1^{rp} (x_2^{rp} - \\ & - x_1^{rp})\} + \{j_2^{rt} 2\rho_2 x_4^{rt} x_5^{rt} (x_6^{rt} + x_7^{rt} - 2x_5^{rt}) + \\ & + j_2^{ch} 2\rho_2 x_5^{ch} [x_6^{ch} (x_7^{ch} - 2x_8^{ch}) + 2x_9^{ch} x_8^{ch}] + \\ & + j_2^{ai} 2\rho_2 x_4^{ai} x_5^{ai} (x_6^{ai} + x_7^{ai} - x_5^{ai}) + j_2^{rp} 2\rho_2 x_3^{rp} x_4^{rp} (x_5^{rp} - \\ & - x_4^{rp})\} + \{j_3^{rt} 8\rho_3 z_2^{rt} x_8^{rt} (x_9^{rt} + x_{10}^{rt} - 2x_8^{rt}) + \\ & + j_3^{ch} 4\rho_3 z_2^{ch} [x_{10}^{ch} (x_{11}^{ch} - 2x_{12}^{ch}) + 2x_{13}^{ch} x_{12}^{ch}] + \\ & + j_3^{ai} 4\rho_3 z_2^{ai} x_8^{ai} (x_9^{ai} + x_{10}^{ai} - x_8^{ai})\} + \{j_4^{rt} 4\rho_4 z_3^{rt} x_{11}^{rt} (x_{12}^{rt} + \\ & + x_{13}^{rt} - 2x_{11}^{rt}) + j_4^{ch} 4\rho_4 z_3^{ch} [x_{14}^{ch} (x_{15}^{ch} - 2x_{16}^{ch}) + 2x_{17}^{ch} x_{16}^{ch}]\} + \\ & + \{j_5^{rt} 4\rho_5 z_4^{rt} x_{14}^{rt} (x_{15}^{rt} + x_{16}^{rt} - 2x_{14}^{rt}) + j_5^{ch} 2\rho_5 z_4^{ch} [x_{18}^{ch} (x_{19}^{ch} - \\ & - 2x_{20}^{ch}) + 2x_{21}^{ch} x_{20}^{ch}] + j_5^{ai} 2\rho_5 z_4^{ai} x_{11}^{ai} (x_{12}^{ai} + x_{13}^{ai} - x_{11}^{ai}) + \\ & + j_5^{rp} 2\rho_5 z_4^{rp} x_6^{rp} (x_7^{rp} - x_6^{rp})\} + \{j_6^{rt} 2n_6 \rho_6 x_{17}^{rt} x_{18}^{rt} (x_{19}^{rt} + \\ & + x_{20}^{rt} - 2x_{18}^{rt}) + j_6^{ch} n_6 \rho_6 x_{22}^{ch} [x_{23}^{ch} (x_{24}^{ch} - 2x_{25}^{ch}) + \\ & + 2x_{26}^{ch} x_{25}^{ch}] + j_6^{ai} n_6 \rho_6 x_{14}^{ai} x_{15}^{ai} (x_{16}^{ai} + x_{17}^{ai} - x_{15}^{ai})\} + \\ & + \{j_7^{rt} 2n_7 \rho_7 x_{21}^{rt} x_{22}^{rt} (x_{23}^{rt} + x_{24}^{rt} - 2x_{22}^{rt}) + \\ & + j_7^{ch} n_7 \rho_7 x_{27}^{ch} [x_{28}^{ch} (x_{29}^{ch} - 2x_{30}^{ch}) + 2x_{31}^{ch} x_{30}^{ch}] + \\ & + j_7^{ai} n_7 \rho_7 x_{18}^{ai} x_{19}^{ai} (x_{20}^{ai} + x_{21}^{ai} - x_{19}^{ai})\} + \\ & + \{j_8^{rt} 4n_8 \rho_8 x_{25}^{rt} x_{26}^{rt} (x_{27}^{rt} + x_{28}^{rt} - 2x_{26}^{rt}) + \\ & + j_8^{ch} 2n_8 \rho_8 x_{32}^{ch} [x_{33}^{ch} (x_{34}^{ch} - 2x_{35}^{ch}) + 2x_{36}^{ch} x_{35}^{ch}] + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & + j_8^{ai} 2n_8 \rho_8 x_{22}^{ai} x_{23}^{ai} (x_{24}^{ai} + x_{25}^{ai} - x_{23}^{ai}) + \\ & + j_8^{rp} 2n_8 \rho_8 x_8^{rp} x_9^{rp} (x_{10}^{rp} - x_9^{rp})\} + \{j_9^{rt} 4n_9 \rho_9 x_{29}^{rt} x_{30}^{rt} (x_{31}^{rt} + \\ & + x_{32}^{rt} - 2x_{30}^{rt}) + j_9^{ch} 2n_9 \rho_9 x_{37}^{ch} [x_{38}^{ch} (x_{39}^{ch} - 2x_{40}^{ch}) + \\ & + 2x_{41}^{ch} x_{40}^{ch}] + j_9^{ai} 2n_9 \rho_9 x_{26}^{ai} x_{27}^{ai} (x_{28}^{ai} + x_{29}^{ai} - x_{27}^{ai})\} + \\ & + \{j_{10}^{rt} 2n_{10} \rho_{10} x_{33}^{rt} x_{34}^{rt} (x_{35}^{rt} + x_{36}^{rt} - 2x_{34}^{rt}) + \\ & + j_{10}^{ch} n_{10} \rho_{10} x_{42}^{ch} [x_{43}^{ch} (x_{44}^{ch} - 2x_{45}^{ch}) + 2x_{46}^{ch} x_{45}^{ch}] + \\ & + j_{10}^{ai} n_{10} \rho_{10} x_{30}^{ai} x_{31}^{ai} (x_{32}^{ai} + x_{33}^{ai} - x_{31}^{ai}) + \\ & + j_{10}^{rp} n_{10} \rho_{10} x_{11}^{rp} x_{12}^{rp} (x_{13}^{rp} - x_{12}^{rp})\} + \{j_{11}^{rt} 4\rho_{11} x_{37}^{rt} x_{38}^{rt} (x_{39}^{rt} + \\ & + x_{40}^{rt} - 2x_{38}^{rt})\} + \{j_{12}^{rt} 4\rho_{12} x_{41}^{rt} x_{42}^{rt} (x_{43}^{rt} + x_{44}^{rt} - 2x_{42}^{rt}) + \\ & + j_{12}^{ch} 2\rho_{12} x_{47}^{ch} [x_{48}^{ch} (x_{49}^{ch} - 2x_{50}^{ch}) + 2x_{51}^{ch} x_{50}^{ch}] + \\ & + j_{12}^{ai} 2\rho_{12} x_{34}^{ai} x_{35}^{ai} (x_{36}^{ai} + x_{37}^{ai} - x_{35}^{ai}) + \\ & + j_{12}^{rp} 2\rho_{12} x_{14}^{rp} x_{15}^{rp} (x_{16}^{rp} - x_{15}^{rp})\} + \{j_{13}^{rt} 4\rho_{13} z_5^{rt} x_{45}^{rt} (x_{46}^{rt} + \\ & + x_{47}^{rt} - 2x_{45}^{rt}) + j_{13}^{ch} 2\rho_{13} z_5^{ch} [x_{52}^{ch} (x_{53}^{ch} - 2x_{54}^{ch}) + 2x_{55}^{ch} x_{54}^{ch}] + \\ & + j_{13}^{rp} 2\rho_{13} z_5^{rp} x_{17}^{rp} (x_{18}^{rp} - x_{17}^{rp})\} + \{j_{14}^{rt} 2\rho_{14} z_6^{rt} x_{48}^{rt} (x_{49}^{rt} + \\ & + x_{50}^{rt} - 2x_{48}^{rt}) + j_{14}^{ch} 2\rho_{14} z_6^{ch} [x_{56}^{ch} (x_{57}^{ch} - 2x_{58}^{ch}) + 2x_{59}^{ch} x_{58}^{ch}] + \\ & + j_{14}^{rp} \pi \rho_{14} z_6^{rp} x_{19}^{rp} (x_{20}^{rp} - x_{19}^{rp})\} + \{j_{15}^{rt} 2\rho_{15} z_7^{rt} x_{51}^{rt} (x_{52}^{rt} + x_{53}^{rt} - \\ & - 2x_{51}^{rt}) + j_{15}^{ch} \rho_{15} z_7^{ch} [x_{60}^{ch} (x_{61}^{ch} - 2x_{62}^{ch}) + 2x_{63}^{ch} x_{62}^{ch}] + \\ & + j_{15}^{ai} \rho_{15} z_7^{ai} x_{38}^{ai} (x_{39}^{ai} + x_{40}^{ai} - x_{38}^{ai}) + j_{15}^{rp} \pi \rho_{15} z_7^{rp} x_{21}^{rp} (x_{22}^{rp} - \\ & - x_{21}^{rp})\} + \{j_{16}^{rt} 2\rho_{16} x_{54}^{rt} x_{55}^{rt} (x_{56}^{rt} + x_{57}^{rt} - 2x_{55}^{rt}) + \\ & + j_{16}^{ch} \rho_{16} x_{64}^{ch} [x_{65}^{ch} (x_{66}^{ch} - 2x_{67}^{ch}) + 2x_{68}^{ch} x_{67}^{ch}] + \\ & + j_{16}^{ai} \rho_{16} x_{41}^{ai} x_{42}^{ai} (x_{43}^{ai} + x_{44}^{ai} - x_{42}^{ai}) + j_{16}^{rp} \pi \rho_{16} x_{23}^{rp} x_{24}^{rp} (x_{25}^{rp} - \\ & - x_{24}^{rp})\} + \{j_{17}^{rt} 2\rho_{17} x_{58}^{rt} x_{59}^{rt} (x_{60}^{rt} + x_{61}^{rt} - 2x_{59}^{rt}) + \\ & + j_{17}^{ch} \rho_{17} x_{69}^{ch} [x_{70}^{ch} (x_{71}^{ch} - 2x_{72}^{ch}) + 2x_{73}^{ch} x_{72}^{ch}] + \\ & + j_{17}^{ai} \rho_{17} x_{45}^{ai} x_{46}^{ai} (x_{47}^{ai} + x_{48}^{ai} - x_{46}^{ai}) + \\ & + j_{17}^{rp} \pi \rho_{17} x_{26}^{rp} x_{27}^{rp} (x_{28}^{rp} - x_{27}^{rp})\}. \quad (3) \end{aligned}$$

На сформированную целевую функцию накладываются конструктивные ограничения, ограничивающие длины [7, 9]:

- поперечных стержней 1 и 15, которые должны быть больше длины обечайки l_{n6} приводного барабана:

$$l_1 - l_{n6} \geq 0, l_{15} - l_{n6} \geq 0; \quad (4)$$

- вертикальных стержней 3, 13 и 14, которые должны обеспечивать беспрепятственное огибание конвейерной лентой приводного барабана D_{n6} на участках криволинейных направляющих:

$$l_3 - D_{пб} > 0, l_{13} + l_{14} - D_{пб} > 0; \quad (5)$$

• продольных стержней 4 и 5, зависящие от диаметра приводного барабана $D_{пб}$ и конструктивного расположения приводных устройств и направляющих на криволинейном участке:

$$l_4 - D_{пб} > 0, l_5 - D_{пб} > 0. \quad (6)$$

Прочностные ограничения учитываются условиями, представленными в СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции».

Жесткостные ограничения заключаются в сохранении величин прогибов элементов МК приводной станции ниже предельных значений и изложены в СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия».

Процедура оптимального проектирования массы МК приводной станции КПЛ реализуется посредством разработанной целевой функции (3) с учетом выполнения конструктивных (4)–(6), прочностных и жесткостных ограничений при использовании программного комплекса Siemens NX.

На основании полученной методики оптимального проектирования выполнены расчеты, показывающие влияние различной величины производительности КПЛ на массу МК приводной станции. Полученные результаты сведены в таблицу. Во время проведения исследования для разных значений производительности были приняты следующие допущения: массы приводного устройства и обечайки барабана одинаковы; скорость движения ленты неизменна.

В результате оптимального проектирования МК приводной станции с целью унификации стержней и раскосов был определен одинаковый профиль поперечного сечения, представленный в таблице.

Один из вариантов напряженно-деформированного состояния представлен на рис. 6. Как видно из картины распределения напряжений, максимальные значения возникают в месте соединения стержней 13 и 15 (см. рис. 3), а также вблизи контакта стержня 13 с трубчатой направляющей.

Проанализировав данное распределение напряжений, можно отметить, что стержневые элементы, соединяющие прямолинейные и криволинейные направляющие с МК приводной станции, целесообразно использовать большего размера по сравнению с другими стержнями и

Зависимость массы металлоконструкций приводной станции от производительности КПЛ

№ п/п	Производительность КПЛ, т/ч	Размеры профиля поперечного сечения, мм	Масса МК приводной станции КПЛ, кг
1	18	Прямоугольная труба 20×15×2	79,7
2	36	Прямоугольная труба 30×15×2	88,2
3	54	Прямоугольная труба 30×20×2	92,5
4	72	Прямоугольная труба 35×20×2,5	106,5
5	92	Прямоугольная труба 40×20×2,5	118,9
6	184	Прямоугольная труба 40×30×3,5	147,2
7	367	Прямоугольная труба 60×40×4	210,1

раскосами. Сами направляющие имеют фиксированное значение геометрических размеров, зависящее от роликовой подвески, которая катится по ним.

На основании проведенных исследований установлено, что полученная оптимизационная математическая модель металлоконструкции

Рис. 6. Вариант картины распределения напряжений в МК приводной станции конвейера

приводной станции позволяет на начальной стадии проектирования конвейера с подвесной лентой получать минимально допустимую по массе металлоконструкцию приводной станции.

Библиографический список

1. Аверченков В. И., Давыдов С. В., Дунаев В. П. и др. Конвейеры с подвесной лентой. М.: Машиностроение-1, 2004. 256 с.
2. Пертен Ю. А. Конвейерный транспорт XXI века // Транспорт Российской Федерации. 2005. № 1. С. 42–43.
3. Ивченко В. Н., Куров С. В. Юбилей российского беспроточного ленточного конвейера с подвесной лентой // Горная промышленность. 2007. № 4 (74). С. 76–77.
4. Лагерева А. В., Дунаев В. П. Конвейеры с подвесной грузонесущей лентой — инновационный вид машин непрерывного транспорта // Справочник. Инженерный журнал. 2009. № 10. С. 9–14.
5. Лагерева А. В., Кулешов Д. Ю. Динамические процессы при переходных режимах работы дискретного участка конвейера с распределенным приводом // Вестник Брянского гос. техн. ун-та. 2013. № 2 (38). С. 50–56.
6. Лагерева А. В., Толкачев Е. Н. Исследование движения подвесок дискретного участка конвейера с подвесной лентой, распределенным приводом и вертикально замкнутой трассой с помощью одномассовой динамической модели // Вестник Брянского гос. техн. ун-та. 2013. № 4 (40). С. 33–40.
7. Лагерева А. В., Бословяк П. В. Универсальная методика оптимального проектирования металлоконструкций конвейеров с подвесной лентой // Вестник Брянского гос. техн. ун-та. 2014. № 1 (41). С. 31–36.
8. Nosko O., Sato Y., Nagamine T., Mori H., Nosko A. L., Romashko A. M. Measurement of temperature at sliding polymer surface by grindable thermocouples // Tribology International. 2015. No. 88. Pp. 100–106.
9. Лагерева А. В., Толкачев Е. Н., Бословяк П. В. Проектирование и исследования конвейеров с подвесной грузонесущей лентой. Брянск: РИО БГУ, 2016. 303 с.
10. Lagerev A. V., Tolkachev E. N., Lagerev I. A. Modeling of a vertical loop conveyor with suspended belt and distributed drive // International Review on Modelling and Simulations. 2016. Vol. 9. No. 4. Pp. 271–279.
11. Лагерева А. В., Толкачев Е. Н. Рациональные параметры подвесок конвейера с подвесной лентой и распределенным приводом // Подъемно-транспортное дело. 2016. № 1–2 (84). С. 17–20.
12. Tarakanov P., Shashurin G., Romanov A. Simulation of hydrogen assisted-cracking in terms of its growth

phenomenon // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. 2016. No. 82. Pp. 2–8.

13. Бословяк П. В., Емельянова Г. А., Зуева Е. П. Влияние коррозионного воздействия на результат оптимального проектирования металлоконструкции стационарного конвейера с подвесной лентой // Вестник Брянского гос. техн. ун-та. 2017. № 4 (57). С. 16–22.

14. Lagerev A. V., Tolkachev E. N., Lagerev I. A. Analyzing the Discrete Section Suspension Parameters in a Conveyor with Suspended Belt and Distributed Drive // Journal of Mechanical Science and Technology. 2017. Vol. 31. No. 10. Pp. 4669–4678.

15. Antonov A. V., Vorotnikov S. A., Vukolov A. Yu., Saschenko D. V., Shashurin G. V. Mathematical model of 3-P wheel-legged mobile robotic platform // International Review of Mechanical Engineering. 2017. No. 5 (11). Pp. 311–319.

16. Agasiev T., Karpenko A. The Program System for Automated Parameter Tuning of Optimization Algorithms // Procedia Computer Science. 2017. No. 103. Pp. 347–354.

17. Nosko A. L., Safronov E. V., Soloviev V. A. Study of Friction and Characteristics of the Friction Pair of Centrifugal Brake Rollers // Journal of Friction and Wear. 2018. No. 2 (39). Pp. 145–151.

18. Sakharov M., Karpenko A. A new way of decomposing search domain in a global optimization problem // Advances in Intelligent System and Computing. 2018. No. 679. Pp. 398–407.

References

1. Averchenkov V. I., et al. *Konveyery s podvesnoy lentoy* [Conveyors with a suspended belt]. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 2004, 256 p.
2. Perten Yu. A. *Konveyernyy transport XXI veka* [Conveyor transport of the XXI century]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of the Russian Federation*, 2005, no. 1, pp. 42–43.
3. Ivchenko V. N., Kurov S. V. *Yubiley rossiyskogo besprotchnogo lentochnogo konveyera s podvesnoy lentoy* [Anniversary of the Russian tubular belt conveyor with a suspended belt]. *Gornaya promyshlennost' – Mining industry*, 2007, no. 4 (74), pp. 76–77.
4. Lagerev A. V., Dunaev V. P. *Konveyery s podvesnoy gruzonessushchey lentoy — innovatsionnyy vid mashin nepreryvnogo transporta* [Conveyors with a suspended cargo bearing belt as an innovative type of machines of continuous transport]. *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal – Reference book. Engineering Journal*, 2009, no. 10, pp. 9–14.
5. Lagerev A. V., Kuleshov D. Yu. *Dinamicheskie protsessy pri perekhodnykh rezhimakh raboty diskretnogo*

uchastka konveyera s raspredelennym privodom [Dynamic processes at transitional operating modes of the discrete site of the conveyor with a distributed power-drive]. *Vestnik Bryanskogo gos. tekhn. un-ta – Bulletin of the Bryansk State Technical University*, 2013, no. 2 (38), pp. 50–56.

6. Lagerev A. V., Tolkachev E. N. *Issledovanie dvizheniya podvesok diskretnogo uchastka konveyera s podvesnoy lentoy, raspredelennym privodom i vertikal'no zamknutoy trassey s pomoshch'yu odnomassovoy dinamicheskoy modeli* [Study of the movement of load carriers at the discrete site of the conveyor with a suspended belt, the distributed drive and vertically closed route by means of one-mass dynamic model]. *Vestnik Bryanskogo gos. tekhn. un-ta – Bulletin of the Bryansk State Technical University*, 2013, no. 4 (40), pp. 33–40.

7. Lagerev A. V., Boslovyak P. V. *Universal'naya metodika optimal'nogo proektirovaniya metallokonstruktsiy konveyerov s podvesnoy lentoy* [Universal technique of optimum design of suspended belt conveyors metal structure]. *Vestnik Bryanskogo gos. tekhn. un-ta – Bulletin of the Bryansk State Technical University*, 2014, no. 1 (41), pp. 31–36.

8. Nosko O., et al. Measurement of temperature at sliding polymer surface by grindable thermocouples. *Tribology International*, 2015, no. 88, pp. 100–106.

9. Lagerev A. V., Tolkachev E. N., Boslovyak P. V. *Proektirovanie i issledovaniya konveyerov s podvesnoy gruzonesushchey lentoy* [Design and research of conveyors with the suspended cargo bearing belt]. Bryansk, RIO BGU Publ., 2016, 303 p.

10. Lagerev A. V., Tolkachev E. N., Lagerev I. A. Modelling of a vertical loop conveyor with suspended belt and distributed drive. *International Review on Modelling and Simulations*, 2016, vol. 9, no. 4, pp. 271–279.

11. Lagerev A. V., Tolkachev E. N. *Ratsional'nye parametry podvesok konveyera s podvesnoy lentoy i*

raspredelennym privodom [Rational parameters of pendants of the conveyor with suspended belt and distributed drive]. *Pod'emno-transportnoe delo – Hoisting-and-transport business*, 2016, no.1–2 (84), pp. 17–20.

12. Tarakanov P., Shashurin G., Romanov A. Simulation of hydrogen assisted-cracking in terms of its growth phenomenon. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 2016, no. 82, pp. 2–8.

13. Boslovyak P. V., Emel'yanova G. A., Zueva E. P. *Vliyanie korrozionnogo vozdeystviya na rezul'tat optimal'nogo proektirovaniya metallokonstruktsii statsionarnogo konveyera s podvesnoy lentoy* [Corrosion impact at the result of optimum design of metal construction of the stationary conveyor with suspended belt]. *Vestnik Bryanskogo gos. tekhn. un-ta – Bulletin of the Bryansk State Technical University*, 2017, no. 4 (57), pp. 16–22.

14. Lagerev A. V., Tolkachev E. N., Lagerev I. A. Analyzing the Discreet Section Suspension Parameters in a Conveyor with Suspended Belt and Distributed Drive. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2017, vol. 31, no. 10, pp. 4669–4678.

15. Antonov A. V., et al. Mathematical model of 3-P wheel-legged mobile robotic platform. *International Review of Mechanical Engineering*, 2017, no. 5 (11), pp. 311–319.

16. Agasiev T., Karpenko A. The Program System for Automated Parameter Tuning of Optimization Algorithms. *Procedia Computer Science*, 2017, no. 103, pp. 347–354.

17. Nosko A. L., Safronov E. V., Soloviev V. A. Study of Friction and Characteristics of the Friction Pair of Centrifugal Brake Rollers. *Journal of Friction and Wear*, 2018, no. 2 (39), pp. 145–151.

18. Sakharov M., Karpenko A. A new way of decomposing search domain in a global optimization problem. *Advances in Intelligent System and Computing*, 2018, no. 679, pp. 398–407.