

УДК (UDC) 621.86

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИЗАЦИИ
ОБРАБОТКИ И АНАЛИТИКИ ДАННЫХ ПРИ ТЯГОВОМ РАСЧЕТЕ
МНОГОПРИВОДНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВFEATURES OF APPLICATION OF AUTOMATION ELEMENTS
PROCESSING AND ANALYTICS OF DATA IN TRACTION CALCULATION
MULTI-DRIVE BELT CONVEYORSГончаров К.А.
Goncharov K.A.Российский университет транспорта (Москва, Россия)
Russian University of Transport (Moscow, Russian Federation)

Аннотация. Проектирование многоприводных ленточных конвейеров является достаточно трудоемким процессом при условии, что даже этот процесс реализуется на основе значительного числа принятых ограничений и упрощений. В настоящей статье предложена концепция мобильной проектной среды – универсального программного решения на основе технологий баз данных для проектирования и расчета различных объектов машиностроения, способного быстро разворачиваться в различных условиях и адаптироваться под новые объекты проектирования. На примере процедуры тягового расчета многоприводного ленточного конвейера показаны особенности построения концептуальных схем мобильных проектных сред, определены обобщенные элементы, характерные для других объектов машиностроения. Применение мобильных проектных сред и их дальнейшее развитие позволяет реализовывать масштабные цифровые эксперименты над различными объектами проектирования на основе накопления и анализа больших массивов параметров синтезируемых возможных проектных решений с дальнейшей реализацией выбора итогового рационального варианта.

Ключевые слова: мобильная проектная среда, базы данных, ленточный конвейер, тяговый расчет.

Дата получения статьи: 03.07.2025
Дата принятия к публикации: 01.09.2025
Дата публикации: 25.09.2025

Сведения об авторе:

Гончаров Кирилл Александрович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Наземные транспортно-технологические средства», ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»,
e-mail: goncharov_bgu@mail.ru.

ORCID: 0000-0002-5895-1162

Abstract. Designing multi-drive belt conveyors is a rather labor-intensive process, provided that even this process is implemented based on a significant number of accepted restrictions and simplifications. This article proposes a concept of a mobile design environment - a universal software solution based on database technologies for designing and calculating various mechanical engineering objects, capable of quickly deploying in various conditions and adapting to new design objects. Using the example of the procedure for traction calculation of a multi-drive belt conveyor, the features of constructing conceptual diagrams of mobile design environments are shown, generalized elements characteristic of other mechanical engineering objects are defined. The use of mobile design environments and their further development allows for the implementation of large-scale digital experiments on various design objects based on the accumulation and analysis of large arrays of parameters of synthesized possible design solutions with subsequent implementation of the choice of the final rational option.

Keywords: mobile project environment, databases, belt conveyor, traction calculation.

Date of manuscript reception: 03.07.2025
Date of acceptance for publication: 01.09.2025
Date of publication: 25.09.2025

Author's information:

Kirill A. Goncharov – Doctor of Technical Sciences, associate Professor, Professor of the Department of Land Transport and Technological Means, Russian University of Transport,
e-mail: goncharov_bgu@mail.ru.

ORCID: 0000-0002-5895-1162

1. Введение

Тяговый расчет многоприводных ленточных конвейеров является трудоемкой процедурой, охватывающей множество различных сопутствующих аспектов, учитывающих как удлинение лент (тяговых и грузонесущей), так и отклонения механических характеристик приводов [1].

В зависимости от установленной степени точности решения задач проектирования концептуально наиболее сложным с позиции обрабатываемого объема данных при проведении тягового расчета многоприводных ленточных конвейеров являются сочетания, включающие в себя признаки m1.6 и m3.3 [1; 2], а именно:

признак – m1.6 – тяговые усилия распределяются с учетом механических характеристик приводов, их возможных отклонений и продольного растяжения ленты;

признак – m3.3 – сопротивления движению ленты конвейера определяются подробным тяговым расчетом с обходом трассы конвейера с дифференцированным подходом к определению коэффициента сопротивления движению на каждом участке трассы конвейера.

В описании указанных признаков отдельно стоит остановиться на возможных сочетаниях отклонений механических характеристик приводов.

В работе [3] приведены способы оценки трудоемкости тягового расчета многоприводных ленточных конвейеров в виде определения количества сочетаний отклонений механических характеристик приводов. На примере системы приводов ленточного конвейера, состоящей из трех последовательно расположенных барабанных приводов, в каждом из которых барабан приводится двумя электродвигателями, показано, что общее количество расчетных сочетаний отклонений механических характеристик приводов составит $N = 2187$ при учете для каждого электродвигателя всего трех характерных параметров: отклонения скольжения электродвигателя в сторону увеличения жесткости механической характеристики – α , отклонения в сторону смягчения механической характеристики – β ,

номинального значения скольжения – $S_{ном}$. Таким образом, в интервале отклонений скольжения $\alpha... \beta$ помимо граничных значений учитывается только одно промежуточное – медианное значение $S_{ном}$. В случае если в данном интервале, к примеру, совокупно учесть десять значений (два граничных и восемь промежуточных), то количество анализируемых сочетаний отклонений скольжения для описанной системы приводов составит $N = 3000000$. Для обработки и анализа подобного массива данных целесообразно применять особые алгоритмы и программные решения.

Стоит отметить, что указанное количество сочетаний соответствует только одной конфигурации системы приводов конвейера. Для принятия взвешенного решения с учетом множества анализируемых конфигураций систем приводов [4, 5] в обобщенной проектной ситуации количество расчетных сочетаний отклонений скольжения может значительно увеличиваться. К примеру, в работах [4, 5] рассматривается 18 конфигураций систем приводов. В случае применения подхода к определению количества сочетаний, описанного выше, общее количество расчетных сочетаний отклонений механических характеристик составит $N = 806130910$.

Необходимость обрабатывать указанный объем данных единым массивом, как таковая, отсутствует. В данном случае целесообразно формировать проектные вертикали: «конфигурация системы приводов» → «массив данных». Таким образом, в процесс проектирования вводится элемент структурирования данных второй очереди (по принадлежности к какому-либо подтипу данных), что позволит внутри подтипа применить алгоритмы статистической обработки результатов моделирования (определить наилучшее и наихудшее сочетание с позиции разброса тяговых усилий или величин максимального натяжения лент, определить и ранжировать вероятности фактической реализации диапазонов возможных значений натяжений лент, прогнозировать с учетом принятых допущений теоретический ресурс работы двигателей приводов, а также грузонесущей и тяговых лент).

2. Цель исследования

Целью настоящего исследования является определение обобщенной конфигурации мобильной проектной среды на основе технологий баз данных при проектировании многоприводных ленточных конвейеров, а также синтез обобщенных алгоритмов работы с массивами больших данных, формирующимися в процессе проектирования указанного технического объекта.

3. Особенности проведения исследования

Введем понятие мобильной проектной (расчетной) среды – специализированного программного обеспечения, не имеющего направленности на конкретный объект проектирования, служащего для сравнительно быстрого развертывания программно реализованных алгоритмов проектирования технических объектов, в том числе на основе обработки больших массивов данных.

Одним из рациональных решений для реализации мобильных проектных сред являются технологии реляционных баз данных. С одной стороны правильно организованная база данных позволяет грамотно структурировать проектные данные, а с другой – син-

тезировать новые посредством исполнения программных скриптов SQL, в которые закладываются проектные алгоритмы.

В связи с этим все программные скрипты для конкретной базы данных, представляющей собой мобильную проектную среду, можно условно разделить на три вида:

1) организационно-служебные скрипты – формируют необходимый базовый набор таблиц для размещения данных;

2) проектно-расчетные скрипты – реализуют какие-либо проектные или расчетные алгоритмы, в результате исполнения которых синтезируются и размещаются в таблицах новые данные;

3) аналитические скрипты – не создают новые данные, служат для систематизации уже существующих (в том числе синтезированных) данных и получения различных результатов статистической обработки.

Поскольку проектирование любого технического объекта сопровождается наличием нормативных ограничений, то в данном случае актуально применение концепции двухполюсных баз данных [6]. Уровень применения данной концепции – проектно-расчетные скрипты. Обобщенная концептуальная схема мобильной проектной среды представлена на рис. 1.



Рис. 1. Обобщенная концептуальная схема мобильной проектной среды

Предложенная схема фактически является универсальной архитектурой любой мобильной проектной среды.

В качестве примера рассмотрим особенности построения мобильной проектной среды реализации процедуры тягового расчета многоприводного ленточного конвейера (рис. 2).

Организационные скрипты в данном случае будут содержать:

1. Скрипт создания таблицы для последующего внесения исходных данных (к данной таблице расчетные скрипты будут регулярно обращаться при определении сопротивлений движению конвейерной ленте на различных участках).

2. Скрипт создания таблицы с массивом сочетаний отклонений скольжения электродвигателей приводов. Фактически является одной из частей фиксированного набора скриптов, учитывающих возможность установки одного, двух и четырех двигателей в структуре привода для конвейеров, оснащенных от одного до десяти приводами в целом. Скрипты, подлежащие развертыванию в конкретной проектной ситуации, определяются в соответствии с методикой формирования схем систем приводов [7]. Данная таблица также итерационно заполняется проектно-расчетными скриптами при синтезе новых данных.

3. Скрипт создания таблицы с параметрами характерных точек трассы конвейера. Структура представления данных в настоящей таблице аналогична представлению, заложенному в пользовательский интерфейс программы [8]. Данная таблица, аналогично предыдущей, заполняется проектно-расчетными скриптами при синтезе новых данных.

4. Скрипты создания таблиц для внесения нормативных ограничений. Данная таблица заполняется для формирования комплекса проектно-расчетных ограничений, через которые далее проектно-расчетные скрипты будут, как через фильтр, пропускать все результаты расчета до заполнения соответствующих таблиц.

Проектно-расчетные скрипты в рассматриваемом примере будут содержать:

1. Скрипт для формирования уравнения обхода по контуру трассы конвейера при тяговом расчете. Данный скрипт принимает данные из таблицы с параметрами характерных точек и таблицы с массивом сочетаний отклонений скольжения, формирует уравнение обхода трассы и записывает его коэффициенты в таблицу массивов сочетаний отклонений скольжения (итоговое уравнение имеет линейный вид).

2. Скрипт определения тяговых усилий. Решает систему уравнений для соответствующего сочетания отклонений скольжения электродвигателей системы приводов. Принимает данные из таблицы исходных данных и таблицы с массивом сочетаний отклонений скольжения. После проведения расчета возвращает данные в таблицу массивов сочетаний отклонений скольжения.

3. Скрипт определения натяжений в характерных точках трассы конвейера. Принимает данные из таблицы с массивом сочетаний отклонений скольжения и таблицы с параметрами характерных точек. После выполнения расчета возвращает данные в таблицу с параметрами характерных точек трассы конвейера.

Все указанные проектно-расчетные скрипты перед проведением расчетных процедур принимают также данные из таблицы для внесения нормативных ограничений. После проведения расчета каждый из скриптов перед возвращением данных в соответствующие таблицы верифицирует их с учетом нормативных ограничений.

Аналитические скрипты в описываемом примере могут содержать следующие решения:

1. Скрипты, определяющие наилучшие сочетания отклонений скольжения в результате проведенных расчетов по значению какого-либо одного параметра (простейшие скрипты запросов типа SELECT с применением агрегатных функций).

2. Скрипты, определяющие наилучшие сочетания результатов расчета по значению нескольких параметров (реализуют алгоритмы различных применимых в конкретной ситуации методов принятия решений).

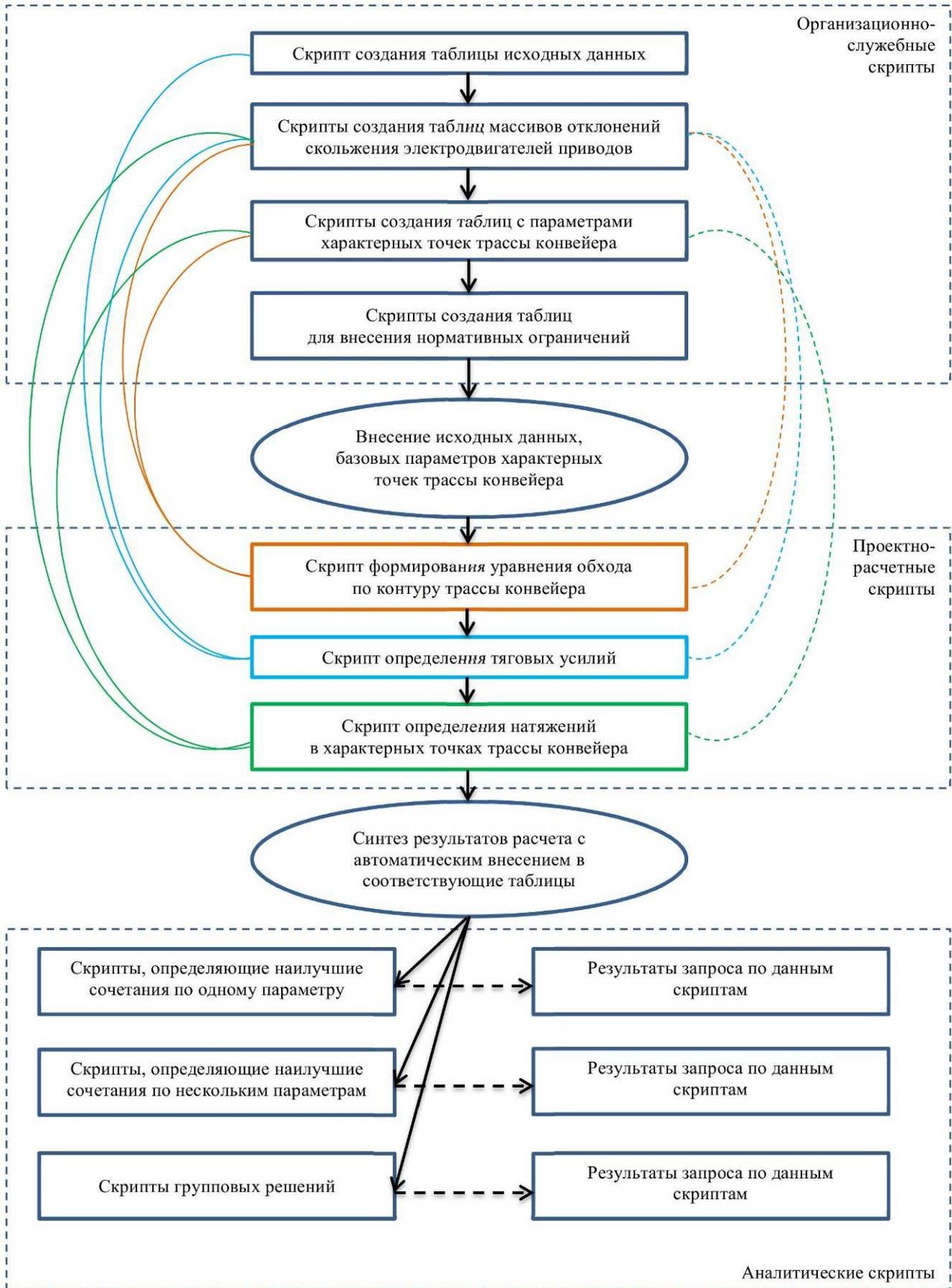


Рис. 2. Концептуальная схема мобильной проектной среды реализации процедуры тягового расчета многоприводного ленточного конвейера

3. Скрипты, описывающие групповые решения (определение массивов усредненных результатов, вероятности реализации тех или иных сочетаний отклонений скольжения (групп сочетаний) по отношению ко всему потоку данных и т.п.).

Стоит отметить, что мобильная проектная среда по функциональному назначению принципиально отличается от базы данных наличием блока алгоритмов, непосредственно синтезирующих новые данные с их автоматическим вводом. В связи с этим представление концептуальной схемы мобильной проектной среды целесообразно производить не в виде комплекса взаимосвязанных таблиц, как принято для баз данных и показано в работе [7], а в виде комплекса взаимосвязанных скриптов, как показано на рис. 2, что позволяет отслеживать, в том числе, корректность применения проектных и расчетных алгоритмов.

В предложенной на рис. 2 схеме аналитические скрипты объединены в группы по возможным зонам поиска данных, так как в обобщенном случае специалисту для достижения промежуточных узких проектных целей может потребоваться анализ по любому случайному параметру из всего массива параметров решения.

Предложенная концептуальная схема мобильной проектной среды для тягового расчета многоприводных ленточных конвейеров позволяет перейти от предварительного вы-

явления возможных опасных сочетаний отклонений скольжения электродвигателей приводов к анализу всего массива сочетаний возможных подобных отклонений, исчисляемых миллионами комбинаций, как было показано выше. Данное обстоятельство, в свою очередь, может привести к значительным прорывам в уточнении закономерностей поведения систем приводов ленточных конвейеров, представленных в [1].

5. Заключение

Программная реализация описанного в настоящей статье многокомпонентного решения в виде мобильной проектной среды позволит перейти к накоплению данных по реализации различных схем систем приводов и их системной обработке методами больших данных, что фактически является масштабным цифровым экспериментом в рамках исследований многоприводных ленточных конвейеров.

Стоит отметить, что структура мобильной проектной среды, описанная в настоящей статье, может быть значительно расширена, начиная от реализации алгоритмов формирования схем систем приводов [7] и заканчивая реализацией алгоритмов принятия рациональных проектных решений при поиске итогового варианта системы приводов с учетом комплекса различных критериев эффективности [5].

Список литературы

1 Гончаров К. А. Тяговый расчет многоприводных ленточных конвейеров. Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2021. 271 с.

2 Гончаров К.А., Дунаев В.П. Комплексный подход к тяговому расчету ленточных конвейеров // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2018. №2. С. 144–151. DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-02-144-151.

3 Гончаров К.А. Система сочетаний отклонений скольжения электродвигателей при вероятностном моделировании распределения тяговых усилий в многодвигатель-

References

1. Goncharov K.A. *Tyagovyy raschet mnogoprivodnykh lentochnykh konveyerov* [Traction calculation of multi-drive belt conveyor]. Kursk, ZAO Universitetskaya kniga, 2021. 271 p. (In Russian)

2. Goncharov K.A., Dunaev V.P. The integrated approach to traction calculation of belt conveyors. *Nauchno-tehnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, No.2, pp. 144-151. DOI: 10.22281/2413-9920-2018-04-02-144-151 (In Russian)

3. Goncharov K.A. Combination system of slide variations of electric motors when using a probabilistic modeling approach of tractive ef-

ных приводах ленточных конвейеров // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2019. №3. С. 288–295. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-05-03-288-295.

4 Гончаров К.А. Определение рационального варианта системы приводов ленточного конвейера ЛСТ-1600 // Вестник Брянского государственного технического университета. 2011. №4(32). С. 33–38.

5 Гончаров К.А. Модификация метода анализа иерархий на основе устранения субъективности экспертных оценок на примере выбора рационального варианта системы приводов ленточного конвейера // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2024. №3. С. 170–178. DOI: 10.22281/2413-9920-2024-10-03-170-178.

6 Гончаров К. А. Концепция двухполусных баз данных при строгом нормативном контроле объектов создаваемых информационных систем // Цифровые, компьютерные и информационные технологии в науке и образовании: Сб. статей Межрегион. научно-практич. конф. с международным участием, Брянск, 01–02 ноября 2023 года. Брянск: Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского, 2023. С. 31-35.

7 Гончаров К.А. Обоснование выбора систем приводов протяженных ленточных конвейеров со сложной трассой: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04. Брянский государственный технический университет. Брянск, 2011. 149 с.

8 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023687226 Российская Федерация. Тяговый расчет мобильной транспортно-технологической системы с гибким тяговым органом: № 2023685977: заявл. 28.11.2023; опубл. 13.12.2023 / К. А. Гончаров; заявитель ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г.Петровского».

† fort distribution in multimotor drives of multidrive belt conveyors. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, No.3, pp. 288-295. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-05-03-288-295 (In Russian)

† 4. Goncharov K.A. Opredeleniye racionalnogo varianta sistemy privodov lentochnogo konveyera LST-1600. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, No.4(32), pp. 33–38. (In Russian)

† 5. Goncharov K.A. Modification of the method of hierarchy analysis based on the elimination of the subjectivity of expert assessments using the example of choosing a rational option for a belt conveyor drive system. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2024, No.3, pp. 170-178. DOI: 10.22281/2413-9920-2024-10-03-170-178 (In Russian)

† 6. Goncharov K. A. The concept of bipolar databases under strict regulatory control of objects of created information systems. In: Digital, computer and information technologies in science and education: Collection of articles of the Interregional scientific and practical conference with international participation, Bryansk, November 1–2, 2023. Bryansk, Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky, 2023, pp. 31–35. (In Russian)

† 7. Goncharov K.A. Justification of the choice of drive systems long belt conveyors with complex route: Diss. Cand. Sci. (Engineering). Bryansk. 2011. (In Russian)

† 8. Certificate of state registration of computer program No. 2023687226 Russian Federation. Traction calculation of a mobile transport and technological system with a flexible traction unit: No. 2023685977: declared. 28.11.2023; published. 13.12.2023. K.A. Goncharov; applicant Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky (In Russian)