

УДК (UDC) 621.86

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЯГОВОГО РАСЧЕТА ОТВАЛЬНЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ МОБИЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН

IMPROVING THE TRACTION CALCULATION OF DUMP CONVEYOR BELTS FOR MOBILE CONSTRUCTION AND ROAD VEHICLES

Гришин А.В.
Grishin A.V.Брянский государственный университет им академика И.Г. Петровского (Брянск, Россия)
Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russian Federation)

Аннотация. Предложена модификация метода проектирования отвальных ленточных конвейеров мобильных строительных и дорожных машин, основанная на введении в его структуру уточненных рекомендаций по выбору коэффициента сопротивления движению ленты, разработанных на основе проведенных экспериментальных исследований процесса нагрева элементов конвейера с момента его пуска до выхода на рабочую температуру. На примере отвального конвейера мобильного моеющего завода выявлены закономерности работы коротких конвейеров, позволяющие повысить эффективность процесса их проектирования, а также получить положительный экономический результат от применения предложенной модификации.

Ключевые слова: ленточный конвейер, метод проектирования, тяговый расчет, мобильные строительные и дорожные машины.

Дата получения статьи: 06.11.2023
Дата принятия к публикации: 10.12.2023
Дата публикации: 25.12.2023

Сведения об авторе:

Гришин Александр Валентинович – старший преподаватель кафедры «Информатика и прикладная математика» ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»,
e-mail: sasha9332@mail.ru.

Abstract. A modification of the design method for dump belt conveyors of mobile construction and road machines is proposed, based on the introduction into its structure of refined recommendations for choosing the coefficient of resistance to the movement of the belt, developed on the basis of experimental studies of the heating process of conveyor elements from the moment of its start to exit to operating temperature. Using the example of a dump conveyor of a mobile washing plant, patterns of operation of short conveyors have been identified, which make it possible to increase the efficiency of their design process, as well as to obtain a positive economic result from the use of the proposed modification.

Keywords: belt conveyor, design method, traction calculation, mobile construction and road machines.

Date of manuscript reception: 06.11.2023
Date of acceptance for publication: 10.12.2023
Date of publication: 25.12.2023

Author's information:

Alexander V. Grishin – senior Lecturer of the Department "Computer Science and Applied Mathematics" at Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University, e-mail: sasha9332@mail.ru.

1. Введение

В настоящее время в качестве средств малой и крупной механизации при проведении дорожно-строительных работ широкое распространение получили мобильные строительные и дорожные машины. Стремительный рост популярности данного рода машин связан с возможностью быстрой смены рабочей площадки [1], способностью их адаптации под переменные технологические условия проведения работ.

Неотъемлемой частью мобильных строительных и дорожных машин являются отвальные ленточные конвейеры [2, 3]. Работа таких конвейеров характеризуется рядом параметров, имеющих переменную природу: производительность, изменение угла наклона (зависит от места разгрузки), регулярное изменение внешних условий работы и т.п.

Проектирование отвальных ленточных конвейеров мобильных строительных и дорожных машин классически производится по методу, предложенному в работе [4], не учитывающему вариативный характер приве-

денных выше параметров. Одной из основных рекомендаций (в структуре метода) при выборе тягового элемента является обеспечение условия его «каркастности» (отсутствия провисания и сохранения формы желоба), а не условие прочности, что приводит к значительному перетягиванию ленты.

Ключевой процедурой при проектировании отвальных ленточных конвейеров является тяговый расчет [5, 6], важной частью которого служит процесс выбора коэффициента сопротивления движению ленты исходя из сопутствующих внешних условий работы конвейера [7].

Условия работы, в свою очередь, представляют собой совокупность параметров окружающей среды, наиболее важным из которых является температура, в пограничных условиях играющая ключевую роль при выборе группы режима работы. При этом в процессе проектирования предполагается, что изменение температуры при работе конвейера не происходит. Зависимость коэффициента сопротивления движению w от температуры на основе данных [7] можно представить в виде диаграммы (рис. 1).

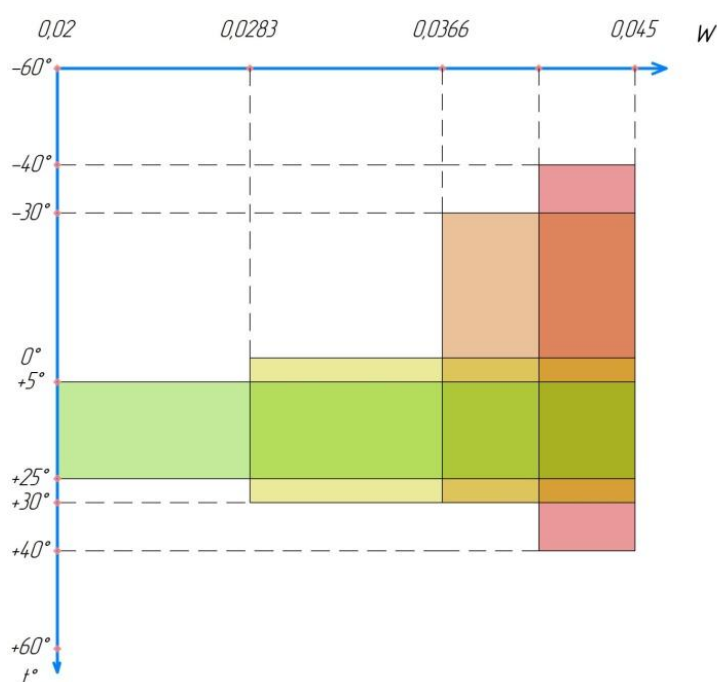


Рис. 1. Диаграмма зависимости коэффициента сопротивления движению ленты от температуры по данным [7]: зеленый цвет – легкие условия работы; оранжевый цвет – средние условия работы; розовый цвет – тяжелые условия работы; малиновый цвет – весьма тяжелые условия работы

Тяговый расчет, согласно [4], выполняется по приближенной зависимости, что приводит к значительному увеличению мощности привода применительно к коротким конвейерам. Также в источнике [4] представлены результаты исследований, показывающие, что в течение первого часа работы потребная мощность приводов снижается примерно на 20%.

В работе [8] представлена математическая модель работы отвального ленточного конвейера, позволяющая определять рабочие

параметры машины в условиях переменности коэффициента сопротивления движению на грузовой ветви и управления натяжением ленты. Результаты теоретических исследований показывают, что работа конвейера с повышенным натяжением ленты негативно сказывается на её ресурсе.

Целью исследования является модификация метода проектирования отвальных ленточных конвейеров посредством введения в его структуру уточнений к выбору коэффициента сопротивления движению ленты.

2. Теоретические исследования

В источнике [9] приведены результаты экспериментальных исследований тепловой картины в зоне приводного мотор-барабана отвального ленточного конвейера при переменной нагрузке и управлении натяжением ленты. На основе полученных результатов можно констатировать, что температура основных элементов отвального ленточного

конвейера увеличивается в среднем на 10-15°C при стартовой температуре +20°C.

С учетом этих сведений можно модифицировать приведенную на рис. 1 диаграмму выбора коэффициента сопротивления движению в части расширения устанавливаемых температурных диапазонов условий работы конвейера (рис. 2.)

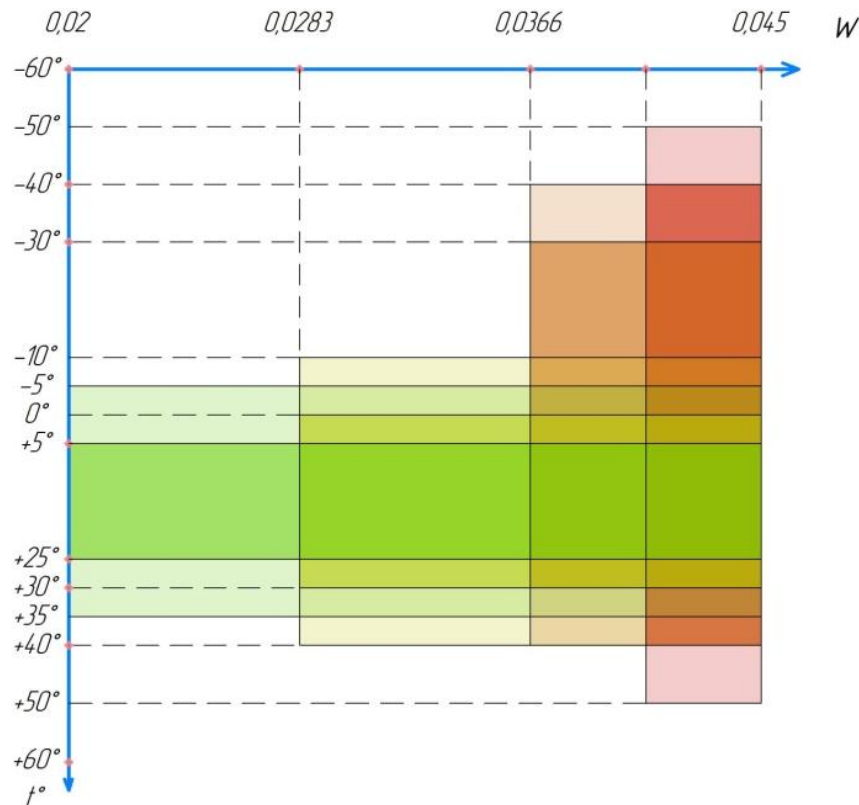


Рис. 2. Модифицированная диаграмма зависимости коэффициента сопротивления движению от температуры с учетом экспериментальных данных [9]

Приведенные в [9] графики изменения температуры элементов конвейера схожи по своей конфигурации. Для их введения в метод расчета проведем процедуру аппроксима-

ции, в результате которой получим усредненные зависимости для разных типов обечаяк приводного мотор-барабана (зависимости (1) – (6)).

Зависимость температуры обечайки приводного мотор-барабана:

$$T = 0,000083 \cdot t^3 - 0,01211 \cdot t^2 + 0,6774 \cdot t + T_0. \quad R^2 = 0,9619 \quad (1)$$

Зависимость для сбегавшей ветви ленты имеет вид:

$$T = 0,00002 \cdot t^3 - 0,00478 \cdot t^2 + 0,3933 \cdot t + T_0 \quad R^2 = 0,9605 \quad (2)$$

Зависимость для набегавшей на барабан ветви ленты:

$$T = 0,0000017 \cdot t^4 - 0,0002 \cdot t^3 + 0,0057 \cdot t^2 + 0,1228 \cdot t + T_0 \quad R^2 = 0,9729 \quad (3)$$

Зависимость для приводного мотор-барабана:

$$T = 0,00001 \cdot t^3 - 0,00526 \cdot t^2 + 0,5491 \cdot t + T_0 \quad R^2 = 0,9974 \quad (4)$$

Зависимость для набегающей ветви ленты:

$$T = 0,0000004 \cdot t^4 - 0,0000695 \cdot t^3 + 0,00329 \cdot t^2 + 0,0566 \cdot t + T_0, \quad R^2 = 0,9969 \quad (5)$$

Зависимость для сбегающей ветви ленты:

$$T = 0,00002 \cdot t^3 - 0,0035 \cdot t^2 + 0,2603 \cdot t + T_0, \quad R^2 = 0,9542 \quad (6)$$

В зависимостях (1) – (6) T – температура исследуемого объекта, T_0 – начальная температура элемента, t – время работы конвейера, R^2 – степень достоверности аппроксимации.

Введем уточнения к выбору коэффициента сопротивления движению на основе экспериментальных исследований, анализируя характеристики окружающей среды на предмет попадания в пограничные условия работы. В случае вхождения текущих условий в сектор пограничных, при обеспечении допуска по температурам в результате прогрева (рис. 2), выбирается более легкая группа режима работы. Дальнейший расчет производится с коэффициентами, соответствующими новым условиям работы.

В технической документации конвейера при этом необходимо указать время работы конвейера для прогрева его элементов и выхода на рабочую температуру.

На примере отвальных ленточных конвейеров мобильного моющего завода CDE M2500 (рис. 3) проведем расчеты по трем расчетным случаям: предварительный тяговый расчет, предлагаемый для данных конвейеров [4], подробный тяговый расчет, учитывающий сопротивления на отклоняющем барабане в виде обобщенного коэффициента [7], подробный тяговый расчет, предложенный в работе [8].



Рис. 3. Мобильный моющий завод CDE M2500

Рассматриваемый моющий завод в зависимости от модификации оборудуется тремя или четырьмя одинаковыми отвальными ленточными конвейерами и одним загрузочным конвейером (рис. 4). В качестве приводных устройств каждого конвейера используются мотор-барабаны, установленные в головной части. Обечайки барабанов выполнены не футерованными. Транспортируемый груз – обезвоженные щебень, гравий и песок.

Каждый из отвальных конвейеров способен реализовывать эксплуатационную производительность до 300 т/ч. Длина конвейера между осями концевых барабанов составляет $L = 9$ м. Ширина ленты $B = 650$ мм. Максимальный угол наклона конвейера $\beta = 20^\circ$. Загрузочный конвейер имеет следующие параметры: длина между осями 15 м, ширина ленты 1000 мм, угол наклона конвейера $\beta = 20^\circ$, при производительности до 300 т/ч.

Моющий завод работает в окружающей среде, имеющей следующие характеристики: открытое пространство, небольшое количество абразивной пыли, работа в сутки 8 – 10 часов, плотность груза от 1,2 до 1,8 т/м³, кусковатость до 10 мм, абразивность средняя, влажность воздуха до 65%, температура окружающей среды от 0°C до +30°C.

Исходя из анализа характеристик рабочей среды, условия работы конвейеров, устанавливаемых в структуре данного моющего за-

вода, можно отнести как к группе тяжелых, так и к группе средних. При этом некоторые из внешних условий соответствуют также группе хороших условий работы. Осуществим переход конвейера в группу более легких условий работы и проведем проектирование согласно хорошим условиям работы. Время прогрева всех элементов по зависимостям (1 – 3) до +5°C составляет 30 мин.



Рис. 4. Конструкция мобильного моющего завода CDE M2500 в разрезе

В результате проведенных процедур тягового расчета согласно [4, 7, 9] можно сделать следующие выводы:

1. Максимальное натяжение ленты в зависимости от метода расчета практически не изменяется. Так при проектировании по приближенной методике максимальное натяжение ленты для отвального конвейера в тяжелых условиях работы составляет 5600 Н. Результат расчета по другим, указанным выше, методам примерно соответствует полученному. В хороших условиях работы максимальное натяжение при приближенном расчете составляет 4050 Н, по методу, предложенному [7] – 5390 Н, по методу [8] – 5390 Н.

Минимальное натяжение изменяется более значительно. По приближенному тяго-

вому расчету минимальное натяжение лежит в диапазоне 1150...1600 Н. Подробный тяговый расчет, проведенный по двум методам, показывает данные 3000...3100 Н, 3100...3150 Н соответственно. Такая разница в минимальном натяжении связана с ограничением ленты по провисанию на холостой и грузовой ветвях.

Расчет загрузочного конвейера показывает схожие результаты. Максимальное натяжение при приближенном тяговом расчете лежит в пределах от 6700 Н до 9200 Н, минимальное натяжение имеет диапазон 1900...2600 Н. При проведении подробного тягового расчета по [7], максимальное натяжение имеет диапазон 7200...7500 Н, а минимальное – 3570...3650 Н.

Результаты исследования натяжений по [8] показывают, что максимальное натяжение грузочного конвейера в зависимости от условий работы лежит в пределах 7200...7500 Н, при этом минимальное натяжение составляет 3640...3700 Н.

2. Требуемая мощность приводов в зависимости от выбранного метода проведения тягового расчета варьируется в широком диапазоне (рис. 5). Таким образом, для одного отвального конвейера требуемая мощность варьируется в диапазоне от 4,8 кВт до 4,5 кВт при работе в хороших условиях. В

случае выбора средних условий диапазон мощности составляет 5,2...4,6 кВт. В тяжелых условиях требуемая мощность составляет 6,7...4,9 кВт.

Требуемая мощность грузочного конвейера в хороших условиях работы лежит в диапазоне 7,96...7,06 кВт. Для средних условий диапазон мощности изменяется в пределах от 8,5 кВт до 7,2 кВт. В тяжелых условиях диапазон мощности составляет 10,9...7,8 кВт (рис. 5). При этом большее значение соответствует первому расчетному случаю, а меньшее – третьему.

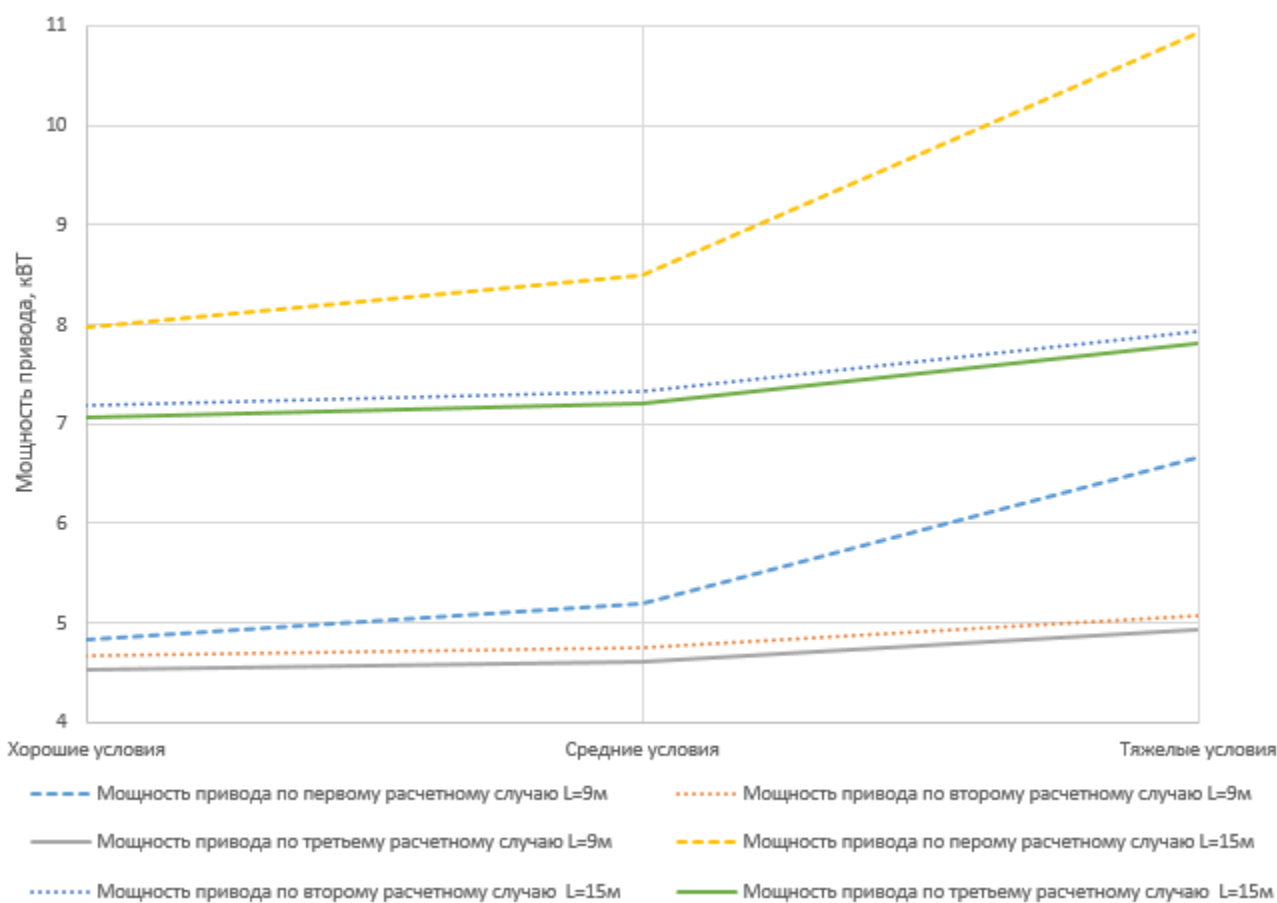


Рис. 5. Требуемая мощность привода конвейеров в зависимости от условий работы

3. Данные требуемой мощности приводов позволяют провести расчет годовой стоимости электроэнергии для одного моющего завода, оборудованного 4-мя отвальными и грузочным конвейерами. Средняя стоимость электроэнергии в Российской Федерации для юридических лиц составляет 10 руб/кВт [10]. Полученные результаты представлены на рис. 6.

При проектировании по первому расчетному случаю в тяжелых условиях работы стоимость электроэнергии составляет 1097 тыс. руб. В средних условиях стоимость значительно снижается до 855,5 тыс. руб. Переход машины в хорошие условия позволяет получить еще меньшую стоимость – 795,4 тыс. руб.

Стоимость электроэнергии по второму расчетному случаю в тяжелых условиях работы составила 823 тыс. руб. В случае выбора средних условий стоимость снижается до 767 тыс. руб. Выбор хороших условий при проектировании дает еще больше снижение стоимости до 755 тыс. руб.

Расчет по третьему случаю показывает минимальные значения стоимости. В тяжелых условиях работы – 787 тыс. руб. При выборе средних условий значение уменьшается до 748 тыс. руб. Переход в хорошие условия работы позволяет еще более значительно снизить стоимость электроэнергии до 735 тыс. руб.

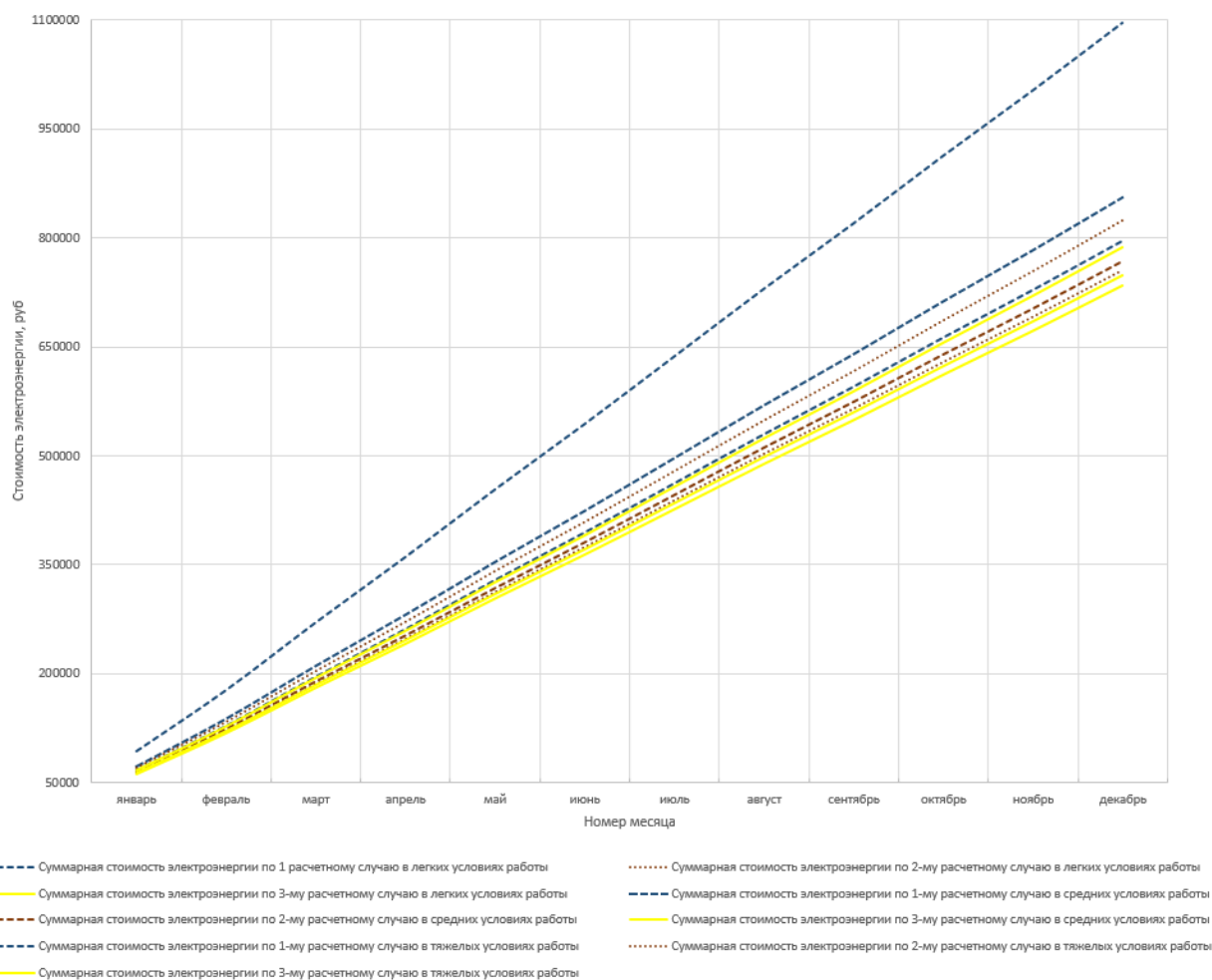


Рис. 6. Суммарная годовая стоимость потребленной электроэнергии отвальными ленточными конвейерами мощного завода CDE M2500 в зависимости от выбранного метода проектирования и условий работы

3. Заключение

На основе результатов теоретических исследований можно сделать следующие выводы:

1. Переход отвалных ленточных конвейеров в более легкие условия работы возможен, поскольку реальные условия работы машины практически всегда лежат в пограничных значениях. При этом переход машины в более легкие условия практически не

сказывается на максимальном натяжении ленты. Минимальное натяжение ленты для данного вида конвейеров формируется условием отсутствия ее провисания на рабочей ветви.

2. Приближенный тяговый расчет целесообразно проводить только для выбора типоразмера ленты отвального ленточного конвейера. Выбор электродвигателя необходимо проводить по уточненному тяговому расчету, так как значения мощности при

приближенном расчете значительно завышаются.

3. Переход машины в более легкие условия в комплексе с подробным тяговым расчетом для конвейеров одного моющего завода позволяет получить положительный экономический результат в плане затрат на стоимость электроэнергии за один год эксплуатации – до 360 тыс. рублей.

На основе приведенных выводов можно утверждать, что введение поправок на возможный переход между температурными

условиями проектирования в расчетные зависимости позволяет значительно снизить эксплуатационные расходы на содержание и эксплуатацию машины.

При этом стоит отметить, что приведенные в данной статье зависимости (1 – 6) в условиях более низких температур могут изменять свой вид, для уточнения которого требуется проведение дальнейших экспериментальных исследований.

Список литературы

1. Недорезов И.А., Савельев А.Г. Машины строительного производства. М.: Из-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 119 с.

2. Гришин А.В., Михальцов А.И. Анализ дорожных фрез холодного типа // Энергоресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях: Материалы междунар. научно-практ. конф., Белгород, 23–25 сентября 2021 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. С. 55-62.

3. Гришин А.В., Конохов Д.В. Обзор снегоуборочной техники непрерывного действия // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях: Материалы междунар. научно-практ. конф., Белгород, 23–25 сентября 2021 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. С. 62-68.

4. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий / В.И. Галкин, В.Г. Дмитриев, В.П. Дьяченко [и др.]. М.: Изд-во МГГУ, 2005. 543 с.

5. 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.

6. Гончаров К.А. Совершенствование тягового расчета многоприводных ленточных конвейеров с учетом механических характеристик приводов // Подъемно-транспортное дело. 2011. № 4(64). С. 2-5.

References

1. Nedorezov I.A., Savelev A.G. *Mashiny stroitel'nogo proizvodstva* [Machine building production]. Moscow, Iz-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2010. 119 p. (In Russian)

2. Grishin A.V., Mikhaltsov A.I. Analysis of road milling cutters of the road type. In: *Energy-resource-saving technologies and equipment in the road and construction industries: Materials of the international scientific and practical conference, Belgorod, September 23-25, 2021*. Belgorod, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 2021, pp. 55-62. (In Russian)

3. Grishin A.V., Konokhov D.V. Review of continuous snow removal equipment. In: *Energy-resource-saving technologies and equipment in the road and construction industries: Materials of the international scientific-practical conference, Belgorod, September 23-25, 2021*. Belgorod: Belgorodsky State Technological University named after V.G. Shukhov, 2021, pp. 62-68. (In Russian)

4. Galkin V.I., Dmitriev V.G., Dyachenko V.P. *Sovremennaya teoriya lentochnykh konveyerov gornyykh predpriyatiy* [Actual theory of belt conveyors in mining]. Moscow, MSMU publishing company, 2005, 543 p. (In Russian)

5. Goncharov K.A., Dunaev V.P. An integrated approach to the numerical calculation of conveyor belts. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2018, No. 2, pp. 144-151.

DOI 10.22281/2413-9920-2018-04-02-144-151. (In Russian)

6. Goncharov K.A. Improvement of trac-

7. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. *Транспортирующие машины*. М.: Машиностроение, 1983. 437 с.

8. Гончаров К.А., Гришин А.В. Математическая модель работы отвальных ленточных конвейеров мобильных строительных и дорожных машин при следящем управлении натяжением лент // *Научно-технический вестник Брянского государственного университета*. 2020. № 3. С. 365-376. DOI 10.22281/2413-9920-2020-06-03-365-376.

9. Гончаров К.А., Гришин А.В. Экспериментальное исследование теплового режима работы мотор-барабана короткого ленточного конвейера // *Научно-технический вестник Брянского государственного университета*. 2020. № 4. С. 529-538.

10. Официальный сайт. Федеральная служба государственной статистики. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fedstat.ru/>. Дата обращения: 05.12.2023.

tion calculation of multi-drive belt conveyors taking into account mechanical characteristics of drives. *Podemno-transportnoe delo*, 2011, No. 4(64), pp. 2-5. (In Russian)

7. Spivakovskiy A.O., Dyachkov V.K. *Transportiruyushchie mashiny* [Transporting machines]. Moscow, Mashinostroenie, 1983. 437 p. (In Russian)

8. Goncharov K.A., Grishin A.V. Mathematical model of the operation of dump conveyor belts of mobile construction and road machines with tracking belt tension control. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No. 3, pp. 365-376. DOI 10.22281/2413-9920-2020-06-03-365-376. (In Russian)

9. Goncharov K.A., Grishin A.V. Experimental investigation of the thermal mode of operation of the motor drum of a short belt conveyor. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No. 4, pp. 529-538. (In Russian)

10. Official site of the Federal State Statistics Service. Unified Interdepartmental Information and Statistical System (EMISS) [electronic resource]. Access mode: <https://fedstat.ru/>. Date of application: 05.12.2023. (In Russian)