



# ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ ГОРНОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Зиёдулло Эшмуродов [0000-0003-2677-6977]

**Эшмуродов З.О.** – DSc., профессор кафедры «Электроснабжение» Навоийского государственного горно-технологического университета.

**Аннотация.** Данная статья посвящена обоснованию эффективность работы горнотранспортных систем, выявления факторов, влияющих на режим работы конвейера, определение нагрузки на привод конвейера в зависимости от сопротивления движения конвейера. Увеличение нагрузка считается основной причиной увеличения энергопотребления системы электропривода, относительные наклоны и зависимости от энергопотребления параметров, таких как скорость ленты или ширина ленты. Для исследования было рассмотрено метод индивидуальных сопротивления. Метод индивидуальных сопротивлений позволяет произвести расчет сопротивления в зависимости от скорости и анализа параметров, таких как ширина ленты, сила натяжения и скорость ленты.

**Ключевые слова:** эффективность работы, факторов, влияющих режим работы конвейера, нагрузки на привод конвейера, сопротивления движения конвейера, энергозатраты, механические сопротивления, относительные наклоны, эффективность электропривода.

**Annotatsiya:** Kon transporti tizimlarining samaradorligi ko'p jihatdan transport tizimlarining ishlashiga ta'sir qiluvchi omillarga bog'liq. Hozirgi vaqtida dunyoda tog '-kon transporti tizimlarining ish rejimlarini yaxshilash, elektromekanik tizim elementlarini zamonaviy tartibga soluvchi qurilmalar bilan almashtirish, elektromekanik tizim elementlarini takomillashtirish, boshqaruv usullaridan foydalanish, tog '- metallurgiya sanoatida energiya tejaydigan va resurslarni tejaydigan tog' - kon mashinalari va mexanizmlarini boshqarish tizimlarini yaratish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Shu munosabat bilan kon transporti tizimlarining samaradorligini oshirish, konveyer qurilmalarining energiya sarfini kamaytirish, konveyerning ish rejimiga ta'sir qiluvchi omillarni aniqlash uchun tog' massasini tashish uchun konveyerning texnologik sxemasini o'rganish, konveyer harakatining qarshiligidagi qarab konveyer haydovchisiga yukni aniqlash, matematik modelni ishlab chiqish va samarali chastotani boshqarish uchun dizayn algoritmini ishlab chiqish zarur.

**Kalit so'zlar:** ish samaradorligi, ta'sir qiluvchi omillar konveyerning ishlash tartibi, konveyer haydovchisiga yuk, konveyerning harakatlanish qarshiligi, energiya sarfi, mexanik qarshilik, nisbiy egilishlar, elektr haydovchisining samaradorligi.

**Annotation.** This article is devoted to substantiating the efficiency of mining transport systems, identifying factors affecting the operation of the conveyor, determining the load on the conveyor drive depending on the resistance of the conveyor movement. The increased load is considered to be the main reason for the increased energy consumption of the electric drive system, relative slopes and energy consumption-dependent parameters such as belt speed or belt width. The method of individual resistance was considered for the study. The individual resistance method allows you to calculate the resistance depending on the speed and analyze parameters such as the width of the tape, the tension force and the speed of the tape

**Keywords:** work efficiency, factors influencing the conveyor operation mode, loads on the conveyor drive, resistance to conveyor movement, energy consumption, mechanical resistance, relative slopes, efficiency of the electric drive.

## Введение

Эффективность работы горнотранспортных систем во многом зависит от факторов, влияющих на режиме работы транспортных систем. В настоящее время в мире ведутся научные исследования по улучшению режимов работы горнотранспортных систем, замены элементов электромеханической системы современными регулирующими устройствами, совершенствованию элементов электромеханической системы, использованию способов управления, созданию



энергоэффективных и ресурсоэффективных систем управления горных машин и механизмов в горно-металлургической промышленности. В связи с этим необходимо повышение эффективности работы горнотранспортных систем, уменьшение энергопотребления конвейерных установок, исследование технологической схемы конвейера для транспортировки горной массы с целью выявления факторов, влияющих на режим работы конвейера, определение нагрузки на привод конвейера в зависимости от сопротивления движения конвейера, разработка математической модели и алгоритма проектирования эффективного частотно-регулируемых электроприводов горнотранспортных механизмов.

## Основная часть

Эффективность предприятий горно-металлургической промышленности зависит от следующих факторов: горно-геологической, климата-метеорологической, производственно-технологической, организационно-управленческой [1]. При перемещении горной массы увеличиваются энергозатраты и при увеличении степени дробления-энергопотребление уменьшается. Увеличение удельного сопротивления разрушению и коэффициента разрыхления увеличивают энергопотребление.

Кроме вышеперечисленных факторов, на эффективность работы горнотранспортных систем оказывает влияние конструктивные и режимные параметры технологических оборудований, а также удельные затраты энергии при транспортировании горной массы.

Таким образом, из вышеперечисленных существенных факторов наиболее значимым является электропотребление на полезную работу, совершаемую технологическими оборудований горнотранспортных систем. Критерием энергоэффективности полезной работы, совершаемой конвейером при перемещении горной массы на расстояние, является удельное электропотребление кВт·ч/(т·км).

Эффективность конвейерных линий определяет неравномерностью поступления горной массы. Время работы конвейеров незагруженными до 60%, а при грузопотоке их загрузки составляет 30-70% [2, 3].

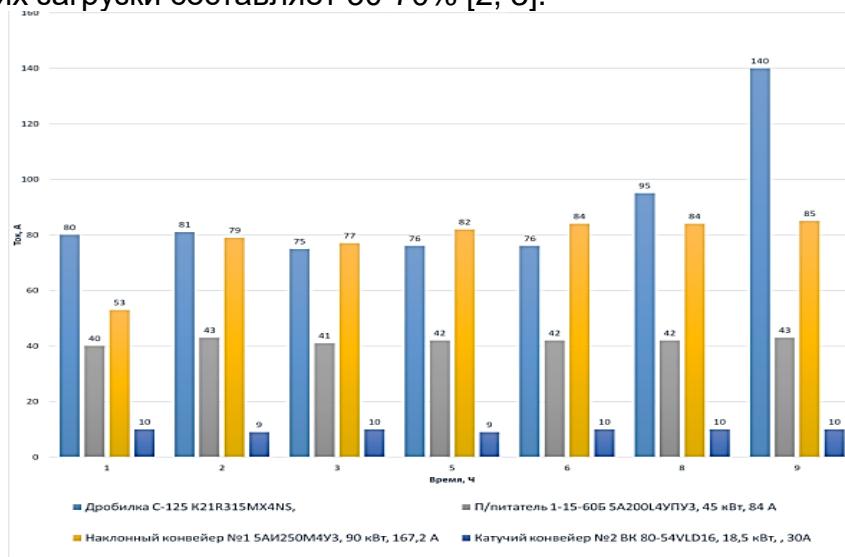


Рис. 1. Диаграммы нагрузок электродвигателей оборудования технологической схемы транспортировки руды.



Проведенный анализ работы электродвигателей оборудования технологической схемы рудоподготовки и транспортировки руды показывает, что электродвигатели работают менее половины своей номинальной нагрузки, т.е. от 33,70–50,39% номинальной нагрузки. Диаграммы нагрузок электродвигателей оборудования технологической схемы транспортировки руды приведены на рис. 1.

Потребление электроэнергии конвейерной установки представляет, 15% от общего потребление предприятия, при этом снижение ее достигает 57%. Доля других объектов предприятия составляет 15-25% каждый, но при этом снижение ее составляет 10-25%. Можно сказать, что конвейерный способ обладает большой энергоэффективностью. (табл. 1.5) [6; с. 350, 7; с. 160, 8; с. 107-111].

Снижение электроэнергии может обеспечить изменение скорости конвейерной машины, а также установка дополнительных бункеров, а также внедрение плавного пуска и повышения КПД электропривода.

Для определения загрузки производственных мощностей технологической схемы рудоподготовки и транспортирования руды произведен расчет загрузки оборудования, используемые в процессе рудоподготовки и транспортировки руды. На основе общей транспортной системы подсистемы конвейерной системы с основными частями и выполняемых в технологическом процессе функциями [4]:

- рабочий процесс: процесс транспортировки управляется с помощью графика нагрузки из распределенного по времени грузопотока  $J(t)$  и подъема высот  $H$ ;
- транспортировочная система: конвейерная лента и опорные ролики транспортируют транспортируемый материал. Скорость движения ленты и силы сопротивления определяются параметрами нагрузки;
- рабочая машина: барабан передает врачающий момент привода на ленты и определяет усилие натяжения ленты и скорость ленты;
- коробка передач: частота вращения барабана регулируется в зависимости от частоты вращения двигателя;
- двигатель: для выполнения привода исследуются асинхронные двигатели;
- преобразователь частоты: его использование обеспечивает регулирование скоростью АД.

В структуре ленточного конвейера и его подсистемах происходят потери. Потери в преобразователе возникают в потоке мощности от сетевого подключения к системе ленточного конвейера, в двигателе и в трансмиссии. Мощность передачи  $P_{\text{пер}}$ , необходимая на привод барабана, рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{пер}} = F_{\text{общ}}(J, H)v(J, H). \quad (1)$$

Механические сопротивления, возникающие в результате процесса транспортировки, вызванные трением ленты и ролика и из-за сопротивления наклона, находятся в составе общего сопротивления  $F_{\text{общ}}$ . Общие сопротивления, а также скорость движения ленты и напрямую зависят от размеров нагрузка, т.е. от скорости грузопотока  $J$  и от высоты подъема  $H$ .

Передача энергии к ленте осуществляется фрикционным барабаном через один или несколько приводных барабанов, которые приводятся в движение электродвигателями и коробками передач. Приводной барабан в зависимости от требуемых фрикционных свойств может быть покрыт резиновой фрикционной накладкой (коэффициенты трения  $\mu_{Tr} \approx 0,35$  [5]).

К параметрам ленты относятся:

- тип ленты, включающий наименование, тип и номинальное разрывное усилие Кн ленты ( $St=2000$  означает стальной пояс с  $Kn=2000$  Н/мин);



- толщина ленточного сердечника ДГК, соответствующая диаметру каната или толщине текстильных вставок;
- вес, связанный с площадью стержня ленты  $m''_{GK}$ ;
- минимальная толщина защитной пластины для несущей и бегущей стороны;
- минимальная ширина ленты;
- минимальный диаметр приводного барабана.

Механические параметры, которые выбираются в системе ленточных конвейеров:

- ширина ленты  $B$ : определяет сечение наполнения, а также необходимую скорость ленты;
- максимальный угол наклона  $d_{\max}$ : влияет на сечение заполнения и скорость ленты;
- сила натяжения  $F_{Sp}$ : определяет провисание ленты и, следовательно, количество необходимых роликов;
- степень заполнения  $j_{\text{ нач}}$ : влияет на сечение заполнения и скорость ленты.

Увеличение нагрузка считается основной причиной увеличения энергопотребления системы электропривода. Оценка потенциальной экономии средств определяется для потребления энергии:

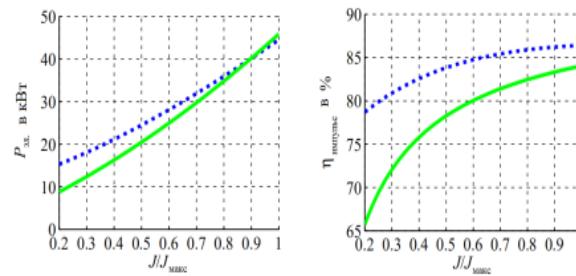
$$P_{\text{конвейер}} \approx F \cdot v. \quad (2)$$

Если увеличить нагрузка в размере 20% как в грузовом потоке, так и к потенциальному размеру объема нагрузка, это приводит к созданию дополнительной нагрузки для конвейерных систем в соответствии с формулой (2.) и потребление энергии увеличивается на 44% [6].

Относительные наклоны и зависимости от энергопотребления параметров, таких как скорость ленты или ширина ленты, а также полученные методики по проектированию, являются допустимыми.

Эффективность электропривода  $\eta_{\text{привод}}$  определяется как произведение эффективностей коробки передач, двигателя и преобразователя и всегда меньше в режиме работы с регулированием скорости, чем в режиме работы от сети (рис.2.б). Вместе с тем, требуемая мощность привода конвейерной ленты при использовании частотно-регулируемого электропривода в диапазоне частичных нагрузок меньше. Это уменьшает диапазон частичной нагрузки, несмотря на более низкий КПД привода, мощность сети и, следовательно, затраты энергии (рис.2.а).

Ширина ленты оказывает непосредственное влияние на возможное поперечное сечение наполнения. Уменьшение поперечного сечения ленты требует увеличения скорости ленты и, следовательно, увеличение энергопотребления при том же расходе потока. Это приводит к увеличению ширины ленты и снижению энергопотребления. Энергосбережение, если ширина ленты удваивается, составляет около 40% [7]. Инвестиционные затраты на ленту также увеличиваются пропорционально ширине, поэтому на основе расчета амортизации необходимо оценить оптимальную с точки зрения затрат на ширину ленты (рис. 3).



а) синий

б) зеленый



а) расчетная потребляемая; б) расчетная эффективность электроэнергии  $P_{эл}$   
мощность конвейера электропривода  $\eta$  привода конвейера.

Рис. 2. Сравнение работы нерегулируемой и с регулируемой скорости.

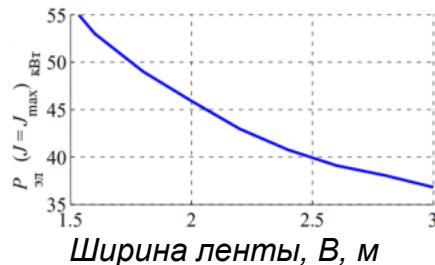


Рис. 3. Расчетное значение  $P_{эл}$  при различной ширине ленты.

1) нерегулируемый режим работы;  $N_m:2$ ) Регулирование скоростью;  $N_m:1$  В качестве силы натяжения ленты выбирается минимально возможное усилие натяжения. Минимальное усилие натяжения около 50 кН, соответствующее распределению сил, показано на рис. 4 при натяжном усилии величиной 100 кН. Это уменьшает провес и, таким образом, приводит к повышенному сопротивлению изгиба.

Расчет расхода электроэнергии для различных сил натяжения ленты показан на рис.4. Здесь потребляемая мощность составляет примерно от 3 до 4 раз больше усилия натяжения относительно минимального усилия натяжения.

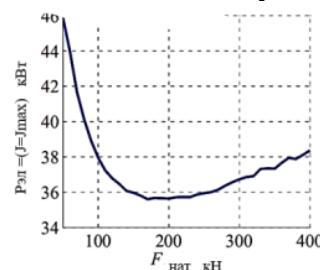


Рис.4. Сравнение расчетного значения потребляемой мощности  $P_{эл}$  для конвейерных систем с различными силами натяжения.

Выбор силы натяжения должен основываться на механическом напряжении ленты и его конструкции. Поэтому слишком большое усилие натяжения приводит к утяжелению ленты. Использование тяжелых лент также приводит к увеличению энергопотребления с очень высокими натяжными силами.

Таким образом, существует энергетически оптимальная сила натяжения, которая для расчета потенциала энергосбережения составляет примерно 25%.

Зависимость потребляемой мощности системы от максимального угла наклона показана на рис.5. Большой угол наклона (например, за счет увеличения  $l_1$  и укорочения  $l_2$ ) уменьшает пригодное для использования заполняющее поперечное сечение всей ленты путем «оплавления» сыпучего материала. Это приводит к увеличению скорости ленты для одного и того же объема горной массы. Наименьший возможный угол наклона приводит к минимальному энергопотреблению. Поэтому рекомендует прямолинейное соединение с низким уклоном с потенциалом энергосбережения около 10% [7,8].

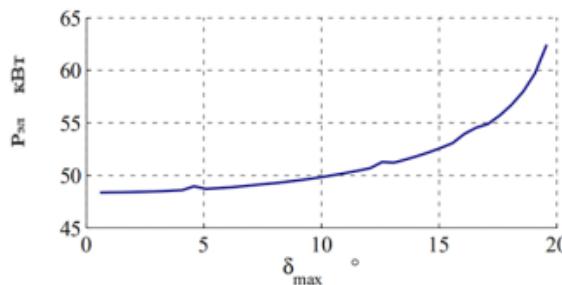


Рис.5. Расчетное энергопотребление в зависимости от угла наклона.

Для расчета механических потерь в ленточном конвейере необходимо разработать модель потерь. Обзор современных методов расчета сопротивлений в конвейерных системах приведен в работе [8]. Обычные методы, такие как ISO 5048 и DIN 22101 допускают только зависящие от нагрузки, но никак не расчет сопротивления в зависимости от скорости. Зависимость сопротивлений от скорости важна для определения энергосбережения между приводами с регулируемой и нерегулируемой скоростью.

Метод индивидуальных сопротивлений позволяет произвести расчет сопротивления в зависимости от скорости и анализа параметров, таких как ширина ленты, сила натяжения и скорость ленты. Существует несколько типов сил сопротивления в конвейерной системе [9].

Общее сопротивление  $F_{\text{общ}}$  разделено на три группы [9]:

$$F_{\text{общ}} = F_{\text{осн}} + F_{\text{нак}} + F_{\text{шунт}} \quad (3)$$

Основное сопротивление  $F_{\text{осн}}$  включает:

- сопротивление деформации и качению, увеличивается с увеличением длины конвейерной ленты;
- сопротивление наклона  $F_{\text{нак}}$ : из-за веса ленты увеличивается;
- шунтирующие резисторы  $F_{\text{шунт}}$ : содержит несколько местных сопротивлений, независимо от длины и высоты конвейерной ленты.

Основное сопротивление оказывает наибольшее влияние на низких уклонах и длинных конвейерных лентах. Он подразделяется на сопротивление натяжных роликов  $F_{\text{нр}}$  и сопротивление изгибу  $F_{\text{изб}}$ . Рассматривается отдельно для верхнего диапазона (индекс 0) и нижнего диапазона (индекс u). Основное сопротивление  $F_{\text{н}}$  рассчитывается по формуле:

$$F_{\text{н}} = (F_{R0} + F_{W0}) + (F_{Ru} + F_{Wu}). \quad (4)$$

Сопротивление направляющего ролика  $F_{\text{нр}}$  возникает на направляющем ролике за счет трения подшипников и горной массы, а с конвейерной ленты, и оно меньше сопротивления изгибу. Сопротивление направляющих роликов увеличивается с увеличением горной массы на метр длины  $m'_L$  и зависит только от скорости ленты  $v$ .

Сопротивление изгибу  $F_{\text{изг}}$  делится на три части. Это сопротивление качению по вдавливанию  $F_{\text{вд}}$ , что происходит, когда лента проходит через промежуточные ролики, сопротивление изгибным колебаниям  $F_{\text{ик}}$ , которое возникает за счет изгиба ленты вперед и назад, а сопротивление изгибу материала конвейера  $F_{\text{им}}$ , которое происходит при трении движущегося транспортируемого материала. Сопротивление изгибному изгибу и сопротивление изгибу  $F_{\text{ии}}$  определяются по формуле [10,11]:



$$F_{из} = F_{вд} + F_{ик} + F_{им} = F_{вд} + F_{ик}. \quad (5)$$

От 50 до 70% сопротивление качению при вдавливании  $F_{вд}$  имеет наибольшую долю в сопротивлении изгибу  $F_{из}$  горной массы, действующая на промежуточную станцию через конвейерную ленту, приводит к углублению в накладках ленты. В результате демпфирования внутреннего материала деформационная работа, связанная с движением ленты, полностью не восстанавливается.

Сопротивление изгибу и изгибу  $F_{и}$  суммирует сопротивление колебаниям при изгибе  $F_{ки}$  и сопротивление  $F_r$  перемещаемого горной массы. При открытии вида ленты и горной массы немного провисают и меняют свою форму. На следующей промежуточной станции вид восстанавливается до указанного сечения (закрытый). Сопутствующее сопротивление увеличивается с увеличением массы горной массы на длину  $m'_L$ , провисание ленты  $h$  и скорость ленты  $v$ .

Наклонное сопротивление  $F_{нак}$  пропорционально общему напору  $H$  и длине. Масса  $m'_L$  транспортируемого горной массы:

$$F_{нак} = Hgm'L. \quad (6)$$

Вторичное сопротивление  $F_{ш}$  в значительной степени содержит сопротивления, возникающие в результате задачи перемещаемых горной массой. Поскольку эти сопротивления не зависят от длины транспортировки, шунтирующее сопротивление в ленточных конвейерах небольшой длины имеет большую долю, чем основное сопротивление. Сопротивление шунта определяется по формуле [12,13]:

$$F_n = F_{уск} + F_{очс} + F_{тр} + F_{из} + F_{ппб}. \quad (7)$$

**Компоненты сопротивления движению:**

- $F_{уск}$  возникает в результате увеличения скорости потока в точке подачи. Это сопротивление представляет собой наибольшую долю вторичного сопротивления при более высоких скоростях ленты;
- $F_{тр}$  описывает трение транспортируемого материала о стенки желоба точки подачи;
- $F_{очс}$  включает трение ленточного очистителя о конвейерную ленту;
- $F_{из}$  описывает сопротивление, которое возникает из-за изгиба конвейерной ленты на барабане;
- $F_{ппб}$  возникает из-за трения в подшипниках не приводных барабанов.

## Заключение

Таким образом, на эффективность работы горнотранспортных систем, таких как ленточные конвейеры влияет различные факторы: сопротивление в транспортных системах, ширина ленты, угол наклона, неравномерность грузопотока, скорость ленты существенно влияет на эффективность транспортной системы. Энергосбережение, если ширина ленты удваивается, составляет около 40%. Наименьший возможный угол наклона приводит к минимальному энергопотреблению. Поэтому рекомендует прямолинейное соединение с низким уклоном с потенциалом энергосбережения около 10%. Определены параметры, влияющие на эффективность работы конвейерных систем, факторы влияющие, как на экономию электроэнергии, так и на инвестиционные затраты



**Список использованных литературы:**

- [1]. Прокуда В.Н. Энергоэффективность магистрального конвейерного транспорта угольных шахт с учетом динамики горной потоков // Дисс. ... канд. техн. наук. – Днепропетровск, 2015. – 160 с.
- [2]. Прокуда В.Н. Исследование и оценка горной потоков на магистральном конвейерном транспорте ПСП «Шахта «Павлоградская» ПАОДТЭК «Павлоградуголь» / В.Н.Прокуда, Ю.А.Мишанский, С.Н.Проценко // Гірнича електромеханіка. (12) – 2012. – № 88. – С. 107-111.
- [3]. Васильев К.А., Николаев А.К., Сазонов К.Г. Транспортные машины и оборудование шахт и рудников. – СПб.: Изд. «Лань», 2012. – 544 с.
- [4]. Schützhold, K. Benath und W. Hofmann. Auswahl energieeffizienter elektrischer Antriebe am Beispiel Förderanlagen. ant – Journal, ISSN 0722-8546, Heft 03/2014 – 26 c. (14)
- [5]. Ставицкий В.Н. Алгоритм идентификации транспортной задержки конвейера. // Наукові праці ДонНТУ Випуск 20 (182) с.58-65
- [6]. G. Kunze, H. Göhring und K. Jacob. Baumaschinen: Erdbau- und Tagebaumaschinen. Vieweg+Teubner, 2009. с. 302.
- [7]. Эшмуродов З.О., Бобожанов М.К. Исследование эффективности конвейеров горнотранспортных систем // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2020. – №3. – С. 109-112.
- [8]. Eshmurodov Z., Holboiv F. Modernization of Control Systems of Electric Drives of Mine Lifting Machines // E3S Web of Conferences Volume 41, 26 June 2018. – Article number 03006. – 3rd International Innovative Mining Symposium, IIMS 2018. – T.F.Gorbachev Kuzbass State Technical University. – 3 October 2018. through 5 October 2018; Code 137557 (Scopus Base).
- [9]. Ziyodullo O. Eshmurodov\* and Eldor I. Arziyev Choice of energy-saving electric drives in quasi-stationary transport systems E3S Web of Conferences 417, 03010 (2023) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20>
- [10]. Бобожанов М.К., Эшмуродов З.О. Выбор энергосберегающих электроприводов в квазистационарных транспортных системах // Кончилик машиналари ва технологиялари – №. 3. – (2023): С. 75-81.
- [11]. Бобожанов М.К., Эшмуродов З.О. Исследование эффективности работы ленточных конвейеров горнотранспортных систем. Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2020. – № 2. – С. 65-73.
- [12]. Maxsud Kalandarovich Bobojanov, Eshmurodov Ziyodulla Oripovich, Muhriddin Tulkin ugli Ismoilov, Eldor Izam ugli Arziev and Gulnoza Ziyodullaevna Togaeva. Study of the efficiency of conveyors of mining transport systems of mining complexes // E3S Web Conf. Volume 177, 2020 XVIII Scientific Forum "Ural Mining Decade" (UMD 2020) 08 July 2020 E3S Web of Conferences 177, 03023 (2020) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017703023>.
- [13]. Ziyodullo Eshmurodov, Shukhrat Abdullaev. Investigation of the methods of starting and braking in the “Frequency converter asynchronous motor” system. E3S Web Conf. 548 06013 (2024 DOI: 10.1051/e3sconf/202454806013