

# Требования к тормозным режимам регулируемого электропривода горных машин

<sup>1</sup>\*КЕНЕСОВА Перизат Еркинқызы, м.т.н., piko-09@mail.ru,

<sup>2</sup>КАВЕРИН Владимир Викторович, к.т.н., и.о. профессора, kaverinkz@inbox.ru,

<sup>1</sup>ТАТКЕЕВА Галия Галымжановна, д.т.н., профессор, зав. кафедрой, tatkeeva@mail.ru,

<sup>1</sup>Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Казахстан, 010011, Нур-Султан, пр. Женис, 62,

<sup>2</sup>Карагандинский технический университет, Казахстан, 100027, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

\*автор-корреспондент.

**Аннотация.** Целью статьи является разработка требований к управляемым режимам торможения средствами регулируемого электропривода горных машин. В статье выполнен анализ технических характеристик регулируемого электропривода. Рассмотрены особенности эксплуатации с учётом требований техники безопасности регулируемых электроприводов механизмов подачи очистных комбайнов, конвейеров, подъёмных машин и подземного электровозного транспорта. Обоснованы требования к технологическому (при наличии электроэнергии) и аварийному (при несанкционированном отключении электроэнергии) торможению. Рассмотрены тенденции развития современного регулируемого электропривода горных машин и механизмов.

**Ключевые слова:** регулируемый электропривод, аварийное торможение, технологическое торможение, горные машины, асинхронный электропривод, электропривод постоянного тока.

## Введение

Регулируемый электропривод получил достаточно широкое распространение в машинах и механизмах горной промышленности. Очистные комбайны с регулируемым электроприводом переменного и постоянного тока механизма подачи выпускаются фирмой Eickhoff (Германия) – серии SL и компанией FAMUR (Польша) – комбайны FS 400 с электрическим приводом KGE. Скребок-конвейеры, выпускаемые фирмой «Bartec» (Германия), оснащаются регулируемым электроприводом с асинхронными двигателями. Стационарные буровые установки, выпускаемые Волгоградским заводом буровой техники, фирмами Caterpillar, National OilWell Varco (США) и BAUER Maschinen GmbH (Германия), канатные дороги, механизмы экскаваторов, подъёмные машины и лебедки также оснащаются регулируемым электроприводом. Для управления режимами работы асинхронного электропривода с короткозамкнутым ротором горных машин и механизмов серийно производятся преобразователи частоты на базе IGBT-транзисторов мощностью от 0,3 до 630 кВт, выпускаемые фирмами INNOVARI (США), ControlTechniques (Великобритания), Toshiba (Япония), Siemens (Германия) и др. [1-4].

Базовыми элементами силовой части преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока являются транзисторные модули

четвертого поколения, обладающие следующими параметрами: коммутируемое напряжение до 4500 В, токи до 1800 А, прямое падение напряжения 1,0÷1,5 В и частотой коммутации до 50 кГц. Использование современной силовой транзисторной техники в регулируемых электроприводах упрощает технические решения силовой части и позволяет повысить надёжность оборудования. Применение преобразователей нового поколения позволит улучшить динамические характеристики и увеличить диапазон управления выходными координатами электропривода как в двигательном, так и в генераторном режимах.

Важной тенденцией, четко проявившейся в последние годы на шахтах, карьерах и разрезах горнодобывающей промышленности, является постоянный рост мощности электроприводов и производительности горных машин и механизмов, что в свою очередь повышает вероятность появления аварийных ситуаций.

## Обоснование требований к электроприводу в режиме управляемого торможения

В процессе эксплуатации рассматриваемого класса машин можно выделить три основных режима: первый – пуск электропривода, второй – установившаяся работа и третий – торможение [5-12].

Первые два режима достаточно широко ис-

следованы, для них получены оптимальные законы управления и осуществлен синтез систем управления.

Тормозной режим электропривода горных машин исследован в меньшей степени. В то же время правила техники безопасности предъявляют конкретные требования к длине тормозного пути. Для ряда машин и механизмов требуется точная остановка рабочего органа, причем с целью повышения производительности необходимо минимизировать время на второстепенные операции, к которым относится процесс торможения [12-17].

От характеристик электропривода в режиме генераторного торможения существенно зависит динамическая загруженность механической части. В аварийных режимах, связанных с внезапным отключением электроэнергии, что характерно для электропривода горных машин, также необходимо обеспечивать эффективное торможение.

Все вышеизложенные требования должны быть реализованы в широком диапазоне регулирования скорости, величина которого в основном определяется как характеристиками механической части электропривода, так и технологией производственного процесса. Так как кинетическая энергия, запасенная в маховых массах электропривода, с уменьшением частоты вращения убывает в квадратичной зависимости, то при снижении частоты вращения в 10 раз кинетическая энергия уменьшится в 100 раз и составит менее 1% от величины, соответствующей максимальной частоте вращения электропривода. Поэтому обеспечение устойчивого торможения в диапазоне изменения угловой скорости 1:10 удовлетворяет требованиям техники безопасности и требованиям, предъявляемым к горным машинам, оснащённым регулируемым электроприводом.

В горнодобывающей промышленности регулируемым по скорости электроприводом оснащают, в том числе, механизмы подачи угледобывающих комбайнов и рабочие органы скребковых конвейеров, что значительно повышает их эксплуатационные показатели, обеспечивает энергосбережение, позволяет осуществить комплексную автоматизацию процесса производства полезных ископаемых. Мощность таких электроприводов находится в диапазоне 10-750 кВт.

В процессе эксплуатации горных машин и механизмов после отключения электроэнергии угледобывающий комбайн и рабочий орган скребкового конвейера продолжают совершать поступательное движение за счет накопленной кинетической энергии. Неуправляемое движение горных машин повышает травматизм в ограниченном пространстве горных выработок. Для повышения безопасности эксплуатации машин и механизмов необходимо обеспечить их тормозными устройствами, сокращающими тормозной путь. На шахтах в процессе добычи полезных ископаемых также возникают аварийные ситуации,

требующие немедленного отключения электроэнергии на добычном участке. Для выполнения требований техники безопасности необходимо, чтобы тормозные устройства обеспечивали торможение во всем диапазоне угловой скорости, в том числе, после отключения электроэнергии. Причем для рабочего органа конвейера и механизма подачи очистного комбайна требованиями техники безопасности регламентирована протяжённость тормозного пути.

Все способы торможения в приводе горных машин можно разделить на два основных вида: механическое и электрическое. При механическом торможении кинетическая энергия преобразуется в тепловую энергию, за счет которой происходит нагрев трущихся и прилегающих к ним частей механического тормоза. При электрическом торможении кинетическая энергия преобразуется в электрическую и в зависимости от способа торможения двигателя отдается в сеть, формирует противодействующий момент режима противовключения либо преобразуется в тепловую энергию, расходуемую на нагрев обмоток двигателя и токоограничивающих реостатов в цепи якоря электродвигателя.

С ростом производительности современных механизмов и соответственно с увеличением их рабочих скоростей возрастают трудности осуществления автоматической точной остановки электропривода. Неточная остановка электропривода может явиться серьезным препятствием к созданию автоматизированных и поточных линий, к автоматизации работы отдельного механизма. При ручном управлении для точной остановки механизма в заданном положении часто приходится многократно переводить электропривод в тормозной режим, что ведет к потере времени, повышенному расходу электроэнергии, нагреву двигателя и преждевременному износу оборудования. С целью повышения производительности для ряда машин и механизмов необходимо минимизировать время на второстепенные операции, к которым относится процесс торможения. Разработка систем управления тормозным режимом обеспечивает повышение производительности механизмов, минимизируя время торможения и снижая динамическую нагрузку, обеспечивая при этом увеличение срока службы силовой части электропривода и повышение ее ресурса.

Тормозной режим в крановом электроприводе требуется при спуске груза и при передвижении рабочего органа крана в горизонтальной плоскости. Низкая надежность или большая инерционность применяемых тормозных устройств может привести к нерегулируемому спуску груза под действием силы тяжести с последующим его ударом и разрушением. Затянувшийся выбег в горизонтальной плоскости может привести к большим механическим перегрузкам механизма горизонтального передвижения вследствие удара крана с концевыми упорами, или к повреждению

груза при его столкновении с посторонними предметами. Особые требования в крановом электроприводе предъявляются к торможению в условиях аварийного отключения электроэнергии. Для предотвращения перегрузки механизмов подъема и горизонтального перемещения, а также повреждения перемещаемого груза, необходимо механизмы спуска-подъема и горизонтального перемещения оснастить энергонезависимым тормозным устройством, позволяющим автоматически после отключения энергии осуществить торможение во всем диапазоне угловой скорости. В режимах технологического и аварийного торможения применение неэффективных тормозных устройств с низким быстродействием может привести к значительному повышению травматизма и нарушениям техники безопасности эксплуатации подъемных кранов [14, 15].

Особенностями тормозных режимов регулируемого кранового электропривода являются:

- регулирование скорости в генераторном режиме работы в электроприводе подъемного механизма;
- сокращение тормозного пути в электроприводе перемещения крана в горизонтальной плоскости.

В крановых механизмах и подъемных машинах при несанкционированном отключении электроэнергии необходимо ограничить ускорение при торможении до величины, регламентированной техническими требованиями, предъявляемыми к данным машинам и механизмам.

К электроприводу шахтной подъемной установки также предъявляются высокие требования. Электропривод должен обеспечивать точное выполнение заданной диаграммы скорости при значительных колебаниях статической нагрузки и изменениях ряда других параметров, поэтому требуется регулирование скорости как в двигателе, так и в тормозном режиме.

На действующих подъемных установках максимальная скорость подъемных сосудов достигает 15 м/с. Минимально необходимая скорость при маневрах должна составлять не более 0,1 м/с. Таким образом, реально необходимый диапазон регулирования скорости, который должен обеспечивать электропривод в двигателе и генераторном режимах работы, составляет 150:1.

От характеристик в режиме генераторного торможения существенно зависит динамическая нагруженность механической части электропривода. В аварийных режимах, связанных с внезапным отключением электроэнергии, что характерно для электропривода горных машин, также необходимо обеспечивать эффективное регулируемое торможение.

В процессе эксплуатации горных машин и механизмов после отключения электроэнергии угледобывающий комбайн и рабочий орган скребкового конвейера продолжают совершать поступательное движение за счет накопленной

кинетической энергии. Для повышения безопасности эксплуатации машин и механизмов необходимо обеспечить их тормозными устройствами, сокращающими тормозной путь. Для рабочего органа конвейера и механизма подачи очистного комбайна требованиями техники безопасности регламентирован тормозной путь  $S_T \leq 0,5$  м.

В настоящее время на шахтных электровозах стран СНГ и за рубежом в подавляющем большинстве применяется электропривод постоянного тока мощностью от 15 до 160 кВт.

В рудных шахтах в основном применяют контактные электровозы постоянного тока, которые получают энергию от контактного провода. Электровозы имеют две системы торможения: электрическую и механическую. Основным видом рабочего торможения является электрическое реостатное. Электрическая реостатная схема торможения проста, но несовершенна и неэкономична из-за больших непроизводительных потерь электроэнергии в пусковых и регулировочных резисторах. В настоящее время разработаны и успешно применяются электроприводы с частотными преобразователями на основе запираемых тиристорных и силовых транзисторов. Они более экономичны, чем реостатные схемы управления. Для экстренного торможения и полной остановки используют механические средства торможения.

Механическое торможение осуществляется путем приложения к какому-либо из валов кинематической цепи статического момента трения при помощи колодочного, ленточного, дискового или других механических тормозных устройств. Энергонезависимость механического тормоза, как правило, осуществляется путем накопления энергии упругой деформации в пружине, на сжатие которой во время работы электропривода расходуется часть электроэнергии. На основании проведенных исследований механические тормозные устройства развивают тормозной момент в диапазоне 1:2 номинального момента электропривода. Применение механического тормоза увеличивает стоимость устройства на 20-30% от стоимости электродвигателя нормального исполнения. Механическое тормозное устройство в аварийном режиме при отключении электроэнергии в начальный момент времени не обеспечивает требуемого значения тормозного момента, поэтому в ряде случаев, например, в крановых механизмах и электроприводах экскаваторов, необходимо использовать совмещенные тормозные устройства, состоящие из механического тормоза и какого-либо электрического способа торможения с использованием электропривода. Комбинирование такой конструкции обеспечивает устройству более высокую надежность. Несмотря на очевидное преимущество, механическое тормозное устройство обладает рядом недостатков. Энергия, запасенная в маховых массах электродвигателя, трансмиссии и рабочего органа, расходуется на нагрев и износ трущихся частей механическо-

го тормоза, в результате чего необходимо часто осуществлять регулировку и профилактический ремонт элементов механического тормоза. Еще одним недостатком механического тормоза является более высокая инерционность по сравнению с режимами динамического торможения и рекуперации.

### Выводы

Основные особенности электропривода подземных машин, определяющие его структуру и режимы работы, связаны со следующими факторами:

- случайный характер нагрузок, изменяющихся в широком диапазоне;
- стопорные режимы работы;
- ограниченные габариты электрооборудования;
- ограниченные возможности диагностики;
- жесткие условия эксплуатации: пыль, вибрация, удары и т.д.;
- наличие упругих механических связей первого или второго рода;
- нелинейные свойства электродвигателей;
- «мягкие» сети электроснабжения;
- дрейф электрических параметров электропривода;

- изменение механических параметров электропривода;
- ограниченное количество датчиков;
- специфические требования к взрывозащищенному электрооборудованию (для электропривода подземных горных машин).

Модернизация электроприводов горного оборудования в настоящее время осуществляется в следующих направлениях:

- разработка новых технических решений, выполненных на базе силовой полупроводниковой техники и обеспечивающих конкурентоспособность изделий;
- совершенствование структур регулирования с применением аналоговых и цифровых принципов управления;
- повышение диапазона и точности регулирования скорости;
- повышение надежности, в том числе за счет увеличения степени интеграции элементов силовой части и системы управления;
- улучшение массогабаритных показателей;
- применение развитой диагностики, широкой номенклатуры защит и сервисных устройств;
- применение специализированной микропроцессорной техники.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блак Т. Автоматизация EICKHOFF гарантирует безопасность и качество – в России ввели в эксплуатацию первую лаву, работающую в автоматическом режиме // Уголь. – 2015. – № 10 (1075). – С. 22-23.
2. Очистной комбайн FAMUR FS 400. – URL: <https://soc-mine.ru/note/note.php?l=13>. Дата посещения: 24.11.2021 г.
3. Современные и безопасные американские буровые установки. – URL: <http://allspectech.com/stroitel'naya/burovye-ustanovki/amerikanskije.html>. Дата посещения: 24.11.2021 г.
4. Линник В.Ю. Анализ технико-экономических показателей работы отечественных и зарубежных механизированных комплексов для подземной добычи угля // Горный журнал. – 2012. – № 8. – С. 19-24.
5. W. Cai, X. Wu, M. Zhou, Y. Liang, Y. Wang. Review and Development of Electric Motor Systems and Electric Powertrains for New Energy Vehicles. Automotive Innovation Published online: 25 February 2021.
6. Шпрехер Д.М., Бабокин Г.И., Колесников Е.Б., Зеленков А.В. Исследование динамики нагружения регулируемого электропривода очистного комбайна // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2020. – Вып. 2. – С. 514-525.
7. Ву Хай Ха. Моделирование и исследование динамики систем электроснабжения с распределенной генерацией и массовым использованием частотно-регулируемого электропривода. – URL: <https://www.dissercat.com/content/modelirovanie-i-issledovanie-dinamiki-sistem-elektrosnabzheniya-s-raspredelennoi-generatsiei>. Дата посещения: 17.01.2022 г.
8. Корчагина В.А. Разработка и исследование частотного асинхронного электропривода с системой управления углом между векторами тока статора и тока намагничивания. – URL: <http://legacy.stu.lipetsk.ru/files/materials/2860/autoref.pdf>. Дата посещения: 24.11.2021 г.
9. Панасецкий Д.А., Осак А.Б., Бузина Е.Я. Моделирование асинхронной нагрузки с частотно-регулируемым приводом для исследования электромеханических переходных процессов // Электроэнергетика. – 2014. – № 4. – С. 299-304.
10. Клепиков В.Б. Динамика электромеханических систем с нелинейным трением: Монография. – Харьков: Изд-во «Підручник НТУ ХП», 2014. – 408 с.
11. Savitski D., Ivanov V., Heidrich L. Augsburg K., Pütz T. Experimental investigation of braking dynamics of electric vehicle. Conference: EuroBrake, June 2013, DOI:10.13140/2.1.2918.6560.
12. Патент RU2561682C2 / Е.А. Смотров, О.Г. Дашко, М.В. Лифшиц и др. // Электропривод лебедки лифта. 2015-08-27.
13. Patents US6013996A / D.E. Howard, J. Montenegro. Precision stop control for motors. Current Assignee National Aeronautics and Space Administration NASA. 2018-07-27.
14. Требования к безопасности процессов разработки рудных, нерудных и россыпных месторождений открытым способом. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P090001939>. Дата посещения: 24.11.2021 г.
15. Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов, ведущих горные и геолого-разведочные работы. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1400010247>. Дата посещения: 24.11.2021 г.
16. ГОСТ 34434-2018 Тормозные системы грузовых железнодорожных вагонов. Технические требования и правила расчета.
17. ГОСТ 33597-2015 Тормозные системы железнодорожного подвижного состава. Методы испытаний.

**Тау-кен машиналарының басқарылатын электр жетегінің тежеу режимдеріне қойылатын талаптар**<sup>1</sup>\*КЕНЕСОВА Перизат Еркинқызы, т.ғ.м., piko-09@mail.ru,<sup>2</sup>КАВЕРИН Владимир Викторович, т.ғ.к., профессор м.а., kaverinkz@inbox.ru,<sup>1</sup>ТАТКЕЕВА Галия Галымжановна, т.ғ.д., профессор, кафедра меңгерушісі, tatkeeva@mail.ru,<sup>1</sup>С. Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық университеті, Қазақстан, 010011, Нұр-Сұлтан, Жеңіс даңғылы, 62,<sup>2</sup>Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан, 100027, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

\*автор-корреспондент.

**Аңдатпа.** Мақаланың мақсаты тау-кен машиналарының реттелетін электр жетегінің көмегімен тежеудің басқарылатын режимдеріне қойылатын талаптарды әзірлеу болып табылады. Мақалада реттелетін электр жетегінің техникалық сипаттамаларына талдау жасалды. Тазалау комбайндарын, конвейерлерді, көтергіш машиналарды және жерасты электровоз көлігін беру механизмдерінің реттелетін электр жетектерінің қауіпсіздік талаптарын ескере отырып, пайдалану ерекшеліктері қарастырылады. Технологиялық (электр энергиясы болған кезде) және авариялық (электр энергиясын рұқсат етілмеген ажырату кезінде) тежеуге қойылатын талаптар негізделген. Тау-кен машиналары мен механизмдерінің заманауи реттелетін электр жетегінің даму тенденциялары қарастырылады.

**Кілт сөздер:** реттелетін электр жетегі, авариялық тежеу, технологиялық тежеу, тау-кен машиналары, асинхронды электр жетегі, тұрақты ток электр жетегі.

**Requirements for Braking Modes of Controlled Electric Drive of Mining Machines**<sup>1</sup>\*KENESOVA Perizat, Mast. of Tech. Sci., piko-09@mail.ru,<sup>2</sup>KAVERIN Vladimir, Cand. of Tech. Sci., Acting Professor, kaverinkz@inbox.ru,<sup>1</sup>TATKEEVA Galia, Dr. of Tech. Sci., Professor, Head of Department, tatkeeva@mail.ru,<sup>1</sup>S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University, Kazakhstan, 010011, Nur-Sultan, Zhenis Avenue, 62,<sup>2</sup>Karaganda Technical University, Kazakhstan, 100027, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

\*corresponding author.

**Abstract.** The purpose of the article is to develop requirements for controlled braking modes by means of an adjustable electric drive of mining machines. The article analyzes the technical characteristics of an adjustable electric drive. The features of operation taking into account the safety requirements of regulated electric drives of feed mechanisms for cleaning combines, conveyors, lifting machines and underground electric locomotive transport are considered. The requirements for technological (in the presence of electricity) and emergency (in case of unauthorized power outage) braking are justified. The tendencies of development of modern regulated electric drive of mining machines and mechanisms are considered.

**Keywords:** adjustable electric drive, emergency braking, technological braking, mining machines, asynchronous electric drive, DC electric drive.

**REFERENCES**

1. Blak T. Avtomatizaciya EICKHOFF garantiruet bezopasnost' i kachestvo – v Rossii vveli v ekspluataciyu pervuyu lavu, rabotayushchuyu v avtomaticheskom rezhime // Ugol'. – 2015. – No. 10 (1075). – pp. 22-23.
2. Ochistnoj kombajn FAMUR FS 400. – URL: <https://soc-mine.ru/note/note.php?l=13>. Data poseshcheniya: 24.11.2021 g.
3. Sovremennye i bezopasnye amerikanskije burovyje ustanovki. – URL: <http://allspectech.com/stroitel'naya/burovyje-ustanovki/amerikanskije.html>. Data poseshcheniya: 24.11.2021 g.
4. Linnik V.YU. Analiz tekhniko-ekonomicheskikh pokazatelej raboty otechestvennyh i zarubezhnyh mekhanizirovannyh kompleksov dlya podzemnoj dobychi uglja // Gornyj zhurnal. – 2012. – No. 8. – pp. 19-24.
5. W. Cai, X. Wu, M. Zhou, Y. Liang, Y. Wang. Review and Development of Electric Motor Systems and Electric Powertrains for New Energy Vehicles. Automotive Innovation Published online: 25 February 2021.
6. SHprekher D.M., Babokin G.I., Kolesnikov E.B., Zelenkov A.V. Issledovanie dinamiki nagruzheniya reguliruemogo elektroprivoda ochistnogo kombajna // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. – 2020. – Vyp. 2. – pp. 514-525.
7. Vu Haj Ha. Modelirovanie i issledovanie dinamiki sistem elektrosnabzheniya s raspredelennoj generaciej i massovym ispol'zovaniem chastotno-reguliruemogo elektroprivoda. – URL: <https://www.disscat.com/content/modelirovanie-i-issledovanie-dinamiki-sistem-elektrosnabzheniya-s-raspredelennoi-generatsiei>. Data poseshcheniya: 17.01.2022 g.
8. Korchagina V.A. Razrabotka i issledovanie chastotnogo asinhronnogo elektroprivoda s sistemoy upravleniya uglom mezhdu vektorami toka statora i toka namagnichivaniya. – URL: <http://legacy.stu.lipetsk.ru/files/materials/2860/autoref.pdf>. Data poseshcheniya: 24.11.2021 g.

9. Panaseckij D.A., Osak A.B., Buzina E.YA. Modelirovanie asinhronnoj nagruzki s chastotno-reguliruемым приводом для issledovaniya elektromekhanicheskikh perekhodnykh processov // Elektroenergetika. – 2014. – No. 4. – pp. 299-304.
10. Klepikov V.B. Dinamika elektromekhanicheskikh sistem s nelinejnym treniem: Monografiya. – Harkiv: Publ. «Pidruchnik NTU HPI», 2014. – 408 p.
11. Savitski D., Ivanov V., Heidrich L. Augsburg K., Pütz T. Experimental investigation of braking dynamics of electric vehicle. Conference: EuroBrake, June 2013, DOI:10.13140/2.1.2918.6560.
12. Patent RU2561682C2 / E.A. Smotrov, O.G. Dashko, M.V. Lifshic i dr. // Elektroprivod lebedki lifta. 2015-08-27.
13. Patents US6013996A / D.E. Howard, J. Montenegro. Precision stop control for motors. Current Assignee National Aeronautics and Space Administration NASA. 2018-07-27.
14. Trebovaniya k bezopasnosti processov razrabotki rudnyh, nerudnyh i rossypnyh mestorozhdenij otkrytym sposobom. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P090001939>. Data poseshcheniya: 24.11.2021 g.
15. Pravila obespecheniya promyshlennoj bezopasnosti dlya opasnyh proizvodstvennyh ob"ektov, vedushchih gornye i geologorazvedochnye raboty. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1400010247>. Data poseshcheniya: 24.11.2021 g.
16. GOST 34434-2018 Tormoznye sistemy gruzovyh zheleznodorozhnyh vagonov. Tekhnicheskie trebovaniya i pravila rascheta.
17. GOST 33597-2015 Tormoznye sistemy zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava. Metody ispytaniy.