



# ШАХТАЛАРДА КЎТАРУВЧИ – ТРАНСПОРТ МАШИНАЛАРИ ЭЛЕКТР ЮРИТМАЛАРИНИ БОШҚАРИШ ИШ РЕЖИМЛАРИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ

Eshmurodov Z.O. - t.f.d. (DSc), Navoiy davlat konchlik va texnologiyalar universiteti “Elektr energetikasi” kafedrası professori v.b.

**Аннотация.** Мақолада шахта ва конлардаги кўтарувчи курилмалар фойдали казилмаларни кондан ташиш технологик занжирда мураккаб энг масулиятли эканлиги ва келтирилган. Купгина ҳолларда кўтариш курилмалари кон ишларини юза билан боғловчи ягона звено ҳисобланади. Кўтариш машиналарини такомиллаштиришда шахта кўтариш машиналарини замонавий дастурланувчи мантикий назоратчилар ва юқори даражада хавфсизликни ва ишончилиқни таъминловчи автоматлаштирилган бошқариш тизими асосида жиҳозланади.

**Калит сўзлар:** электр юритма, шахта кўтарувчи машина, электр мотор, тиристорли ўзгартиргич, частота ўзгартиргич, кучланишни актив тўғрилагич, скаляр ва вектор ростлаш усуллари.

**Аннотация.** Подъемные установки шахт и рудников — наиболее сложные и ответственные объекты в общей технологической цепи транспортирования полезного ископаемого из забоя на поверхность. В большинстве случаев подъемная установка является единственным звеном, связывающим горные работы с поверхностью. При модернизации подъемные машины будут оснащены системой автоматизированного управления шахтной подъемной машиной (САУШПМ) построенной на базе современных программируемых логических контроллеров (ПЛК), и обеспечивающей высокий уровень безопасности и надежности работы подъемной установки.

Приведено описание автоматизированного управления шахтной подъемной машиной, который применяется при модернизации скиповых и клетевых подъемных установок. Дано описание современных электроприводов, структура САУ шахтных подъемных машин на базе асинхронных электрических машин с высоковольтными преобразователями частоты с активным выпрямителем. Приведено сравнение электроприводов ШПМ с различными типами преобразователей по наиболее важным практическим показателям.

**Ключевые слова:** электропривод, шахтная подъемная машина, электродвигатель, тиристорный преобразователь, преобразователь частоты, активный выпрямитель напряжения, скалярный и векторное методы регулирования.

**Abstract.** Lifting installations of mines and mines are the most complex and responsible objects in the general technological chain of transportation of minerals from the bottom to the surface. In most cases, the lifting unit is the only link connecting mining operations with the surface. During the modernization, the lifting machines will be equipped with an automated control system for the mine lifting machine (SAUSHPM) built on the basis of modern programmable logic controllers (PLCs), and ensuring a high level of safety and reliability of the lifting installation.

The description of the automated control of the mine lifting machine, which is used in the modernization of skip and cage lifting installations, is given. The description of modern electric drives, the structure of ACS of mine lifting machines based on asynchronous electric machines with high-voltage frequency converters with an active rectifier is given. The comparison of SHPM electric drives with various types of converters is given according to the most important practical indicators.

**Keywords:** electric drive, shaft lifting machine, electric motor, thyristor converter, frequency converter, active voltage rectifier, scalar and vector control methods.

## Введение.

Шахтные подъемные установки используются для выдачи полезных ископаемых, полученных путем проходки горных выработок породы, на поверхность, а также для спуска и подъема людей, транспортирования оборудования и материалов. Основные элементы подъемной установки подъемная машина, подъемные сосуды (клетки, скипы, бады), стальные канаты, загрузочные и разгрузочные устройства (при скиповом подъеме), приемные площадки (при клетевом подъеме), копер с направляющими шкивами и проводники [1,12].

Регулируемый электропривод шахтных подъемных машин (ШПМ) является уникальным, изделием, к которому предъявляются высокие требования обеспечения надежности и безопасности шахтного подъема [2,3].

Подъемные машины могут быть будут оснащены системой автоматизированного управления шахтной подъемной машиной (САУШПМ) построенной на базе современных программируемых логических контроллеров (ПЛК), и обеспечивающей высокий уровень безопасности и надежности работы подъемной установки.

Структурно САУШПМ состоит из двух объединенных шинами связи каналов. Каждый из каналов представляет собой независимый ПЛК с подключенными устройствами ввода-вывода сигналов, датчиками и органами управления. При выполнении программы управления ПЛК анализирует сигналы от датчиков и органов управления, и формирует сигналы управления оборудованием подъемной установки. Для реализации концепции двухканальности, контроль критических параметров работы подъемной установки осуществляется обоими каналами при помощи удвоенного набора

датчиков. При этом сигналы, полученные от датчиков, а также управляющие сигналы, сформированные в первом и втором канале, подвергаются контролю эквивалентности. Таким образом, выполняется контроль исправности обоих каналов САУШПМ.

Существующие энергооптимальные СУ можно разделить по структуре на скалярные и векторные [4].

**Скалярные СУ** энергооптимального электропривода построены на определении рациональных соотношений между частотой и амплитудой подводимого напряжения. Данное соотношение определяет энергетические показатели работы ЭП, поскольку от него, а также от параметров двигателя, зависит его магнитное состояние [5, 6]. Скалярные СУ [7-8] асинхронным ЭП построены на принципе однозначной линейной зависимости между угловой скоростью идеального холостого двигателя и частотой подводимого напряжения. Таким образом, для конкретной рабочей точки, характеризующейся установившимся значением угловой скорости и электромагнитного момента двигателя, может быть найдено оптимальное соотношение  $u/f$ , при котором на формирование электромагнитных переменных двигателя будет расходоваться минимум общих потерь. Энергооптимальные скалярные СУ можно разделить на СУ с аналитическими регуляторами и интеллектуальными регуляторами.

От выбранного типа регуляторов и соотношения  $u/f$  во многом зависят как статические, так и динамические показатели качества работы электропривода, однако, большинство скалярных СУ в сравнении уступают векторным.

Таким образом, оценка скалярных энергооптимальных СУ выражается следующими значениями критериев [9]:

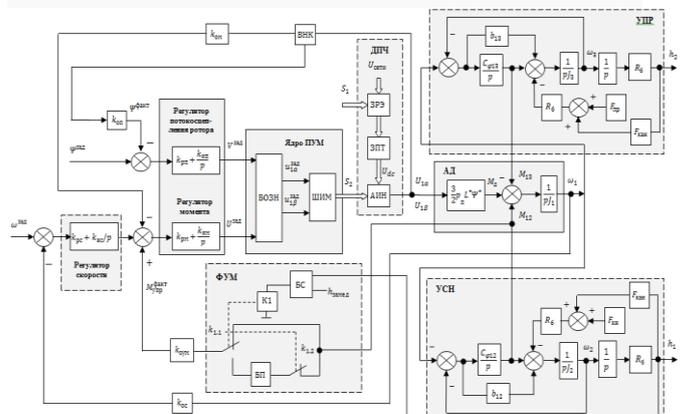
- диапазон регулирования скорости: 2-8 (зависит от закона регулирования);
- точность отработки программных значений скорости: 5-10 (зависит от точности настроек регуляторов и принятых допущениях);
- работоспособность при малых скоростях: 0-10 (зависит от точности настроек регуляторов и принятых допущениях);
- время переходного процесса при подаче ступенчатого задающего воздействия: 5;
- робастность по отношению к неопределенностям параметров и внешних воздействий: 0;
- минимизация электропотребления как в переходных, так и в установившихся режимах при различных нагрузках: 5;
- минимальное влияние на точность наброса и сброса нагрузки, как при больших, так и при малых скоростях: 4;
- быстрота готовности к работе после включения двигателя: 8;

- минимальное количество датчиков: 8;
- минимальность объема вычислений: 0-10 (зависит от принятых допущений);
- способность восстанавливать свою работоспособность после сбоев в системе или прекращения подачи питания без повторного перезапуска системы после остановки ротора: 9.

**Векторные СУ** характеризуются тем, что управляют взаимным пространственным положением векторов переменных состояния АД с целью регулирования электромагнитных переменных двигателя (потокосцеплений), его электромагнитного момента, а также угловой скорости или других механических координат электропривода [9].

Среди векторных СУ также можно выделить СУ с аналитическими и интеллектуальными регуляторами, а также отдельный класс СУ – поисковые, которые добиваются энергооптимального управления путем изменения какого-либо параметра для минимизации одного из критериев энергооптимальности.

Так как все рассмотренные векторные СУ имеют в своей основе сложное математическое описание принципов работы АД с возможностью вариации его параметров, то отнести большинство из них к простым СУ не представляется возможным. На рис.1. приведены функциональная схема модифицированной системы управления электроприводом ШПМ [10]



**Рис.1. Функциональная схема модифицированной системы управления электроприводом ШПМ.**

На рисунке 1 введены следующие обозначения: ЗРЭ – звено рекуперации электроэнергии; ЗПТ – звено постоянного тока; АИН – автономный инвертор напряжения; АД – асинхронный двигатель; УСН – узел сосуда с концевой нагрузкой; УПР – узел противовеса; ВНК – вычислитель ненаблюдаемых координат;  $\omega_{зад}, \Psi_{зад}, M_{упрзад}$  – сигналы задания скорости, потокосцепления ротора АД и упругого момента нагрузки ШПМ,  $\Psi_{факт}, M_{упрфакт}$  – фактические сигналы потокосцепления и упругого момента нагрузки, заводимые через обратные связи;

$k_{ос}, k_{оп}, k_{ом}, k_{оум}$  – соответственно коэффициенты обратных связей по скорости, потокоцеплению ротора, электромагнитному моменту и упругому моменту нагрузки;  $U_{зад}, V_{зад}$  – выходные сигналы регуляторов момента и потокоцепления ротора АД;  $S_1$  – сокращенно от  $S_{a1}, S_{b1}, S_{c1}$ ;  $S_2$  – сокращенно от  $S_{a2}, S_{b2}, S_{c2}$ ; ФУМ – формирователь упругого момента нагрузки; БС – блок сравнения; БП – блок памяти;  $h_{замед}$  – высота участка замедления.

Структурные схемы электроприводов подъемных машин приведены на рис.2 [9,11].

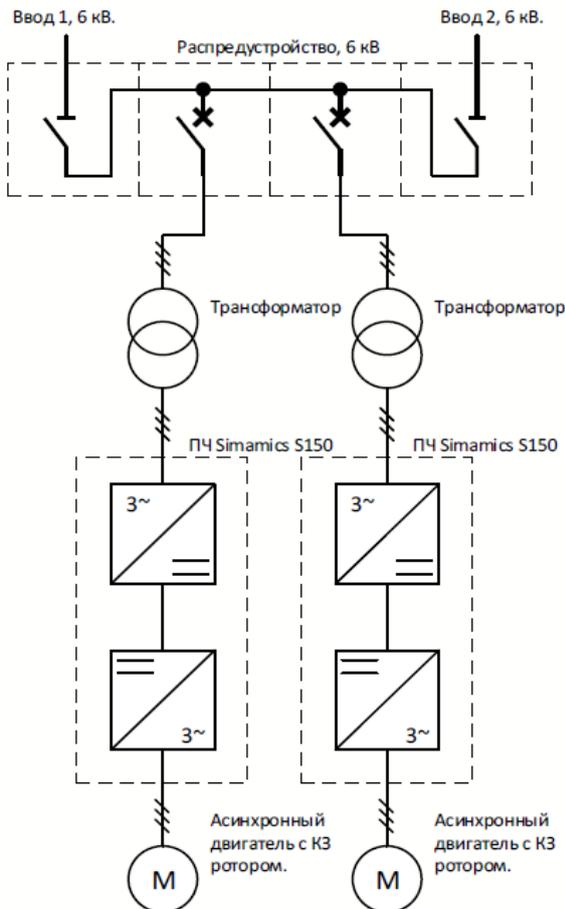


Рис. 2. Структурная схема электропривода подъемных машин.

Подъемные машины комплектуются асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором, предназначенными для работы в составе частотно регулируемого электропривода.

В данных двигателях применена усиленная изоляция обмоток, рассчитанная на напряжение 6 кВ, двигатели оснащаются импульсными энкодерами и вентиляторами типа «наездник». Двигатели выполнены на подшипниках качения с консистентной смазкой, подшипники с неприводной стороны вала изолированы.

Регулирование частоты вращения от нуля до основной производится изменением подводимого напряжения и частоты.

Питание двигателя осуществляется от преобразователя частоты со звеном постоянного напряжения с широтно-импульсной модуляцией.

Таблица 1.

Параметр	Значение		
	2Ц-6х2,43Д ствол «Главный»	ЦШН-3,15х4РД ствол «Скиповый» (скип-скип)	ЦШН-3,15х4РД ствол «Скиповый» (клеть-протвивовес)
Тип двигателя	MENZEL MEBKG5 00-10	MENZEL MEBKG5 60-08	MENZEL MEBKG50 0-10
Количество, шт	2	2	2
Мощность, кВт	500	1120	500
Частота вращения (синхронная), об/мин	590	745	590
Крутящий момент, кНм.	8,1	14,4	8,1
Ток, А	546	1195	546
Напряжение, В.	690	690	690
КПД, %	95,8	96,8	95,8
Масса, кг	5730	7050	5730

Подъемные машины комплектуются тиристорными преобразователями частоты (ПЧ) Siemens SINAMICS S150. ПЧ имеют модульную конструкцию, позволяющую гибко конфигурировать преобразователь. Предлагаемые ПЧ состоят из активных модулей питания, обеспечивающих передачу энергии в промежуточный контур (звено постоянного тока) и рекуперацию энергии при работе двигателя в генераторном режиме, и модулей двигателя, обеспечивающих четырех квадрантное векторное управление двигателем. Активные модули питания обеспечивает регулируемое постоянное напряжение, которое остаётся неизменным при изменении напряжения питающей сети в пределах разрешенных допусков, кроме того, активные сетевые модули потребляют из сети почти синусоидальный ток и практически не оказывают негативных влияний на питающую сеть.

Основные технические параметры ПЧ приведены в таблице 2

Таблица 2

Параметр	Значение		
	2Ц-6х2,43Д ствол	ЦШН-3,15х4РД ствол	ЦШН-3,15х4РД ствол
Тип подъемной машины	2Ц-6х2,43Д ствол	ЦШН-3,15х4РД ствол	ЦШН-3,15х4РД ствол



	«Главный»	«Скиповый» (скип-скип)	«Скиповый» (клеть-протвивовес)
Количество, шт	2	2	2
Типовая мощность	560	1200	560
Входное напряжение	690В+10%-15%	690В+10%-15%	690В+10%-15%
Входной ток -базовый ток -макс.ток	522 А 862А	1270В 1845А	522 А 862А
Выходное ток - базовый ток нагрузки $I_n$ - макс. ток	575А 840А	1142А 1905А	575А 840А
Выходное напряжение	0...690В	0...690В	0...690В
Частота импульсов - без ухудшения параметров тока	1,25 кГц 7,5 кГц	1,25 кГц 7,5 кГц	1,25 кГц 7,5 кГц
Степень защиты	IP 20	IP 20	IP 20

### Заключения.

Предложена САУШПМ обеспечивающий все виды защиты и блокировки, необходимые для обеспечения безопасной эксплуатации подъемных установок в заданных режимах и условиях, а также прочие защиты и блокировки в соответствии с «Правилами безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». САУШПМ оснащена приборами, регистрирующими все циклы работы машины и позволяющие анализировать скорость и направления движения, а также другие важные параметры работы подъемной установки.

### Список использованных литературы:

[1.] Бобожанов М.К., Эшмуродов З.О. Выбор энергосберегающих электроприводов в квазистационарных транспортных системах // Кончилик машиналари ва технологиялари – №. 3. – (2023): С. 75-81.

[2.] Католиков В. Е., Динкель А. Д. Динамические режимы рудничного подъема. — М.: Недра, 1995. — 448 с.

[3.] Бобожанов М.К., Эшмуродов З.О. Исследование эффективности работы ленточных конвейеров горнотранспортных систем. Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2020. – № 2. – С. 65-73.

[4.] Maxsud Kalandarovich Bobojanov, Eshmurodov Ziyodulla Oripovich, Muhridin 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>.

[5.] Христов В.И. Математическая модель асинхронных машин в фазных осях статора // Электротехника. –2004. –№ 7. –С. 24-31.

[6.] Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. –Екатеринбург, Уральское отделение РАН, 2000. –654 с.

[7.] 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).

[8.] Buja G.S. Direct Torque Control of PWM Inverter-Fed AC Motors –A Survey / G.S. Buja, M.P. Kazmierkowski // IEEE Trans. Ind. Electron. –Aug., 2004. –Vol. 51. – № 4. –P. 744-757.

[9.] Ziyodullo Eshmurodov, Folib Holboiv. Modernization of Control Systems of Electric Drives of Mine Lifting Machines. "Environment, Energy and Earth Sciences (E3S) Web of Conferences" (язык английский, индексация в Scopus) - 2018. Интернет-адрес журнала: <http://www.e3s-conferences.org>.

[10.] 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/202301703010>

[11.] Эшмуродов З.О. Модернизация систем управления электроприводов шахтных подъемных машин // Материалы VII-Международной научно-технической конференции на тему: «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений». – Екатеринбург, 10-11 апреля 2018 г. – С. 107-111.

[12.] Эшмуродов З.О., Холбоев Г.О., Арзиев Э.И., Исmoilов М.Т., Орипова У.З. Системы управления электроприводов шахтных



подъемных машин // Сборник научных трудов 15-й Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. – Том 1. Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики. – Минск - Тула - Донецк, 29-30 октября 2019 г. – С. 292.

**[13.]** Б.И. Абрамов, А.Г. Иванов, В.А. Шиленков, И.К. Кузьмин, Ю.В. Шевырев. Электропривод современных шахтных подъемных машин. ООО «Электротехническая промышленная компания» (ООО «Электропром»), Москва, Россия, e-mail: [electroprom@electroprom.com](mailto:electroprom@electroprom.com) Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ МИСиС), Москва, Россия, e-mail: [uvshev@yandex.ru](mailto:uvshev@yandex.ru)