

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СБОЕВ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ГРУЗОПОДЪЁМНЫХ КОНВЕЙЕРНЫХ МЕХАНИЗМАХ ВСЛЕДСТВИЕ ПЕРЕГРУЗКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ, НА КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Товбоев А.Н., Тогаев И.Б.

Навоийский государственный горно – технологический университет, Навои, Узбекистан

Doi: 10.5281/zenodo.17339035

АННОТАЦИЯ

Получено:
16.07.2025
Пересмотрено:
21.07.2025
Пересмотрено:
05.08.2025
Опубликовано:
10.10.2025

В данной работе настоящее исследование направлено на всесторонний анализ причин перегрузок электроприводов, классификацию возникающих нарушений, а также выявление их влияния на качественные показатели электрической энергии, включая напряжение, частоту, симметрию фаз и коэффициент мощности. В настоящее время, при увеличении глубины добычи, увеличение расстояния транспортировки приводит к увеличению эксплуатационных расходов на систему электропривода конвейера. Кроме того, система электропривода транспортировки угля работает с большим количеством устройств, параметры, которых необходимо оптимизировать. В современных условиях эксплуатации горнодобывающих предприятий особое внимание уделяется надежности и энергоэффективности систем электроприводов, применяемых в транспортировке угля. Увеличение глубины добычи и протяжённости транспортных линий приводит к росту механических и электрических нагрузок на приводные установки, что обуславливает необходимость детального анализа причин их перегрузок. Перегрузки могут возникать вследствие неравномерного распределения нагрузки между приводами, колебаний питающего напряжения, а также из-за износа механических узлов. Эти факторы оказывают прямое влияние на параметры качества электрической энергии, включая стабильность напряжения, частоту, симметрию фаз и коэффициент мощности. Несоответствие данных показателей нормативам приводит к снижению общей эффективности системы и увеличению эксплуатационных расходов. Поэтому актуальной задачей является разработка методов диагностики и классификации нарушений, а также оптимизация параметров электроприводов с учётом специфики работы много приводных конвейерных систем, что позволит повысить их надёжность и снизить энергозатраты.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Электропривод, перегрузка, технологические нарушения, конвейерные механизмы, качество электрической энергии, переходные процессы, гармоники, симметрия фаз, снижение надёжности, промышленные энергосистемы.

Введение

В существующие установки электропривода конвейера с частотными преобразователями требуют улучшения системы управления с целью повышения качества регулирования для обеспечения экономии энергии, плавной и бесшумной работы конвейера, повышения его надежности и безопасности, минимизации времени и затрат на его ремонт. Опыт работы с ленточными конвейерами показал, что для повышения эффективности использования энергетических систем ленточных и роликовых конвейеров наиболее эффективным является использование частотно-регулируемого электропривода. В преобразователе частоты, показанном на рисунке 1 и 2 конденсатор большой емкости C_1 является важным компонентом в промежуточном звене.

Он обходным для выравнивания пульсаций напряжения на выходе выпрямителя, а также является накопителем энергии при работе двигателя в режиме генератора [1, 2].

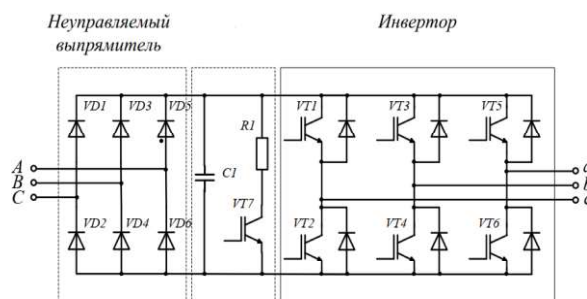


Рис. 1. Преобразователь с диодным выпрямителем

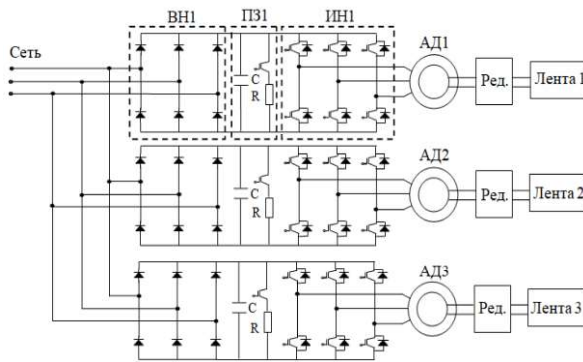


Рис. 2. Схема электропривода с диодным выпрямителем: ВН₁ – выпрямитель напряжения; ПЗ₁ – промежуточное звено постоянного напряжения; ИН₁ – инвертор напряжения; АД₁, АД₂, АД₃ – асинхронный двигатель; Ред – редуктор

Наличие высших гармоник тока и напряжения влияет на работу электрооборудования в сети. Следовательно, они являются причиной, которая существенно ограничивает использование ПЧ на практике. Полупроводниковая электроника имеет нелинейные характеристики. Они являются причиной появления гармонических несинусоидальных токов в сетях питания и вызывают потери напряжения в элементах сети [3, 4].

Высшие гармоники тока и напряжения снижают энергоэффективность и надежность работы электрооборудования сети. Однако, пассивные фильтры не могут полностью компенсировать все высшие гармоники из-за параметров сопротивлений реакторов и конденсаторов, поскольку они могут быть настроены только на компенсацию определенного выбранного спектра высших гармоник (рис.3).

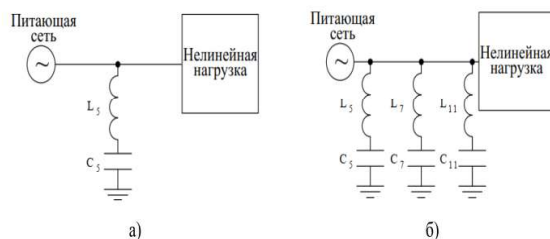


Рис. 3. Структура пассивного фильтра с заданием компенсации:
а) – 5-й гармоник; б) – 5-й, 7-й, 11-й гармоник

В активного фильтра гармоник электроэнергии может компенсировать большинство гармонических составляющих и реактивную мощность, потребляемые от питающей сети. Параллельный активный фильтр подключается параллельно нелинейной нагрузке

и в точке подключения к сети может полностью компенсировать весь спектр высших гармоник тока, в результате будет формировать ток, наиболее близкий к синусоидальному (рис.4а) [5, 6].

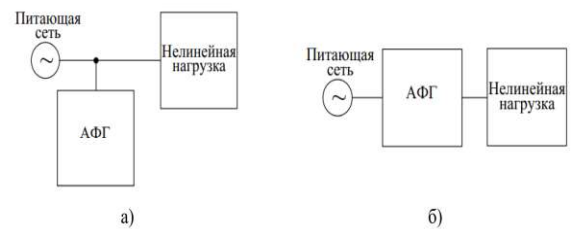


Рис. 4. Структурная схема активного фильтра гармоник электроэнергии:
а) параллельный; б) последовательный

Последовательный активный фильтра гармоник электроэнергии подключается последовательно с нелинейной нагрузке и в точке подключения к сети может полностью компенсировать высших гармоник напряжения, а также колебаний, провалов, скачков и несимметрию напряжения сети (рис.4б).

Для преобразователей с активными выпрямителями, управляемыми методом широтно-импульсной модуляции, близкий к 1 как показано на рисунке 5.

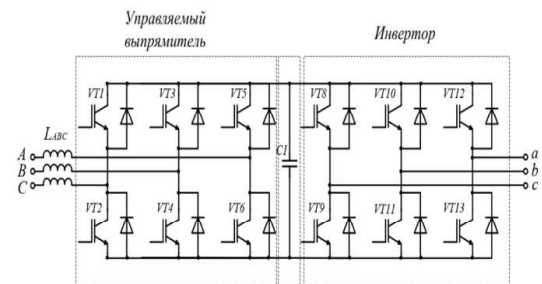


Рис. 5. Преобразователь с активным выпрямителем

Пассивные и активные фильтрокомпенсирующие устройства (пассивные и активные ФКУ) выполняют компенсацию высших гармоники и реактивной мощности в сети. На рисунке 6 приведена классификация фильтро компенсирующих устройств.

Проведен анализ основных технических средств и решений по компенсации высших гармоник тока и напряжения, включая схемные решения рационального построения распределительной сети с нелинейной нагрузкой, применение анти резонансных дросселей в цепи конденсаторных установок, пассивные, активные и гибридные фильтр компенсирующие устройства. Рассмотрена классификация фильтр компенсирующих устройств исходя из их структуры, методов управления и способа подключения к компенсируемой сети.

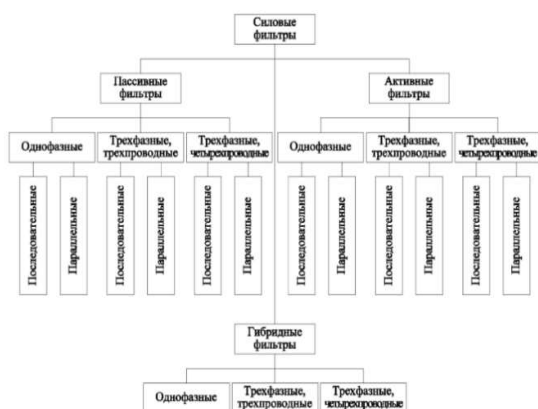


Рис. 6. Классификация фильтров компенсирующих устройств

Разработан обобщенный алгоритм анализа и моделирования несинусоидальных режимов для обоснованного выбора технического средства или решения по повышению качества электроэнергии для условий промышленных систем электроснабжения с нелинейной нагрузкой и конденсаторными установками.

Нагрузка промышленных предприятий изменяется в широких пределах в течение суток или в течение сезона. Соответственно происходит и ступенчатое регулирование мощности конденсаторных батарей.

Поэтому следует иметь в виду, что даже при отсутствии резонанса на полной мощности батареи резонансные явления могут иметь место на одной из ее ступеней. Также компенсирующие устройства могут быть установлены на разных уровнях напряжений электросети, что связано с определением оптимальной мощности конденсаторов и места их установки на предприятии с целью минимизации потерь электроэнергии и напряжения от протекания по элементам ее системы электроснабжения реактивной мощности. «Таким образом, задача компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения с нелинейной нагрузкой

должна решаться с учетом допустимой перегрузки конденсаторов токами высших гармоник при суточном регулировании мощности батареи, схемы распределения компенсирующих устройств на разных уровнях напряжения электросети и выполнения требований к качеству напряжения». Таким образом, установлено, что практически невозможно избежать токовой перегрузки конденсаторов при наличии высших гармоник в сети, поскольку в системах электроснабжения промышленных предприятий применяют ступенчатые регулируемые конденсаторные установки, на ступенях которых может быть получен резонансный режим. Рекомендации применения технических средств и Значения амплитуд высших гармоник тока выпрямителя (табл.2.)

Для рассматриваемых режимов в таблице 3 сведены значения гармонических составляющих напряжения сети с указанием суммарного коэффициента не синусоидальности напряжения THDU %.

Таблица 1
Рекомендации применения технических средств и решения подавления гармоник для низковольтной схемы

Мощность нелинейной нагрузки	Рекомендации для применения технического средства или решения
$P_d^* < 0.15$	Конденсаторы без фильтров
$0.15 < P_d^* < 0.25$	Конденсаторы повышенного напряжения при отсутствии фильтров
$0.25 < P_d^* < 0.6$	Конденсаторы повышенного напряжения при наличии антирезонансных дросселей или пассивных фильтров
$P_d^* > 0.6$	Активные или гибридные фильтры

Таблица 2.
Значения амплитуд высших гармоник тока выпрямителя

Режимы		Резонансный режим на 11 гармонике		Резонансный режим на 13 гармонике		Межрезонансный режим между 7 и 11 гармониками	
Параметры сети		$P_d^*=0,3, Q_k^*=0,15, S_n^*=0,4$		$P_d^*=0,3, Q_k^*=0,11, S_n^*=0,4$		$P_d^*=0,3, Q_k^*=0,12, S_n^*=0,4$	
n	Частота, Гц	Амплитуда гармоник тока		Амплитуда гармоник тока		Амплитуда гармоник тока	
		A	о.е	A	о.е	A	о.е
1	50	623.7	1	619.7	1	633.3	1
5	250	111.7	0.179	104	0.168	126.5	0.2
7	350	70.8	0.114	61.6	0.099	90.2	0.142
11	550	28.7	0.046	24	0.039	57.1	0.09
13	650	16	0.026	21.3	0.034	48.2	0.076
17	850	3	0.005	29.3	0.047	36.6	0.058
19	950	9.7	0.016	33.2	0.054	32.6	0.051

23	1150	20.1	0.032	37.6	0.06	26.6	0.042
25	1250	24	0.038	38.1	0.062	24.4	0.038
29	1450	29.8	0.048	36.7	0.059	20.7	0.033
31	1550	31.8	0.051	35.1	0.057	19.2	0.03
35	1750	14.4	0.055	31	0.05	16.8	0.026
37	1850	35	0.056	28.6	0.046	15.7	0.025

Амплитуды гармоник тока конденсаторной батарее, значения суммарного тока через конденсаторы и коэффициент KOVL для межрезонансных и резонансных режимов системы

электроснабжения приведены. Разложение в ряд Фурье фазного тока конденсаторной батареи в (таб. 3).

Таблица 3.

Значения амплитуд высших гармоник напряжения сети

Режимы		Резонансный режим на 11 гармонике		Межрезонансный режим между 11 и 13 гармониками		Меж резонансный режим между 7 и 11 гармониками	
Параметры сети		$P_d^*=0,3, Q_k^*=0,15, S_n^*=0,4$		$P_d^*=0,3, Q_k^*=0,13, S_n^*=0,4$		$P_d^*=0,3, Q_k^*=0,25, S_n^*=0,4$	
n	Частота Гц	Амплитуды гармоник напряжения		Амплитуды гармоник напряжения		Амплитуды гармоник напряжения	
		В	о.е	В	о.е	В	о.е
1	50	320.6	1	320.2	1	322.1	1
5	250	5.5	0.017	6.4	0.02	8.1	0.025
7	350	5.9	0.019	8	0.025	16.1	0.05
11	550	48.8	0.152	30.8	0.096	7.4	0.023
13	650	6.3	0.02	29.6	0.093	3.7	0.011
17	850	2.9	0.009	4.9	0.015	1.5	0.005
19	950	2.5	0.008	3.2	0.01	1.1	0.003
23	1150	1.9	0.006	1.7	0.005	0.6	0.002
25	1250	1.7	0.005	1.3	0.004	0.5	0.001
29	1450	1.2	0.004	0.8	0.003	0.3	0.001
31	1550	1	0.003	0.7	0.002	0.2	0.001
35	1750	0.7	0.002	0.5	0.001	0.1	>0.001
37	1850	0.5	0.002	0.4	0.001	0.1	>0.001
THD _V %		15.6		13.8		6.2	

Заключения

Выполнено моделирование системы многодвигательного электропривода конвейера с активным выпрямителем с алгоритмом прямого управления мощностью выпрямителя. Разработано решение выбора таблиц переключения ключей (ТПК2) для оптимизации метода прямого управления мощностью выпрямителя для обеспечения высокого коэффициента мощности и низких гармонических искажений тока сети в системе электропривода конвейеров. В методе прямого управления мощностью активного выпрямителя влияние таблиц переключения очень велико на характеристики тока на входе выпрямителя. В процессе выбора состояния вектора напряжения

это приведет к изменению активной и реактивной мощности непосредственно на входе выпрямителя. Перспективным подходом к улучшению режима работы метода прямого управления мощностью является использование таблиц переключения ключей для выбора оптимального вектора управляющего напряжения. Повышена эффективность метода прямого управления мощностью активного выпрямителя путем анализа нескольких таблиц коммутации напряжения для выбора оптимального управляющего напряжения. В результате гармоническое искажение тока на входе выпрямителя уменьшается (THDI% = 0,46).

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF TECHNOLOGICAL FAILURES OCCURRING IN HOISTING CONVEYOR MECHANISMS DUE TO ELECTRIC DRIVE OVERLOADS ON THE QUALITY OF ELECTRIC POWER

A.N.Tovboev, I.B.Togaev

Navoi State Mining and Technological University, Navoi, Uzbekistan

ABSTRACT

Received:
16.07.2025

Revised:
21.07.2025

Accepted:
05.08.2025

Published:
10.10.2025

This scientific work examines the key causes of power quality deterioration in In this work, the present study is aimed at a comprehensive analysis of the causes of electric drive overloads, the classification of the resulting faults, as well as the identification of their impact on the quality indicators of electric power, including voltage, frequency, phase symmetry, and power factor. Currently, with the increasing depth of mining, the extension of transportation distances leads to higher operational costs for the conveyor electric drive system. In addition, the electric drive system for coal transportation operates with a large number of devices, whose parameters require optimization. Under modern operating conditions of mining enterprises, particular attention is paid to the reliability and energy efficiency of electric drive systems used in coal transportation. The increase in mining depth and the length of transportation lines leads to higher mechanical and electrical loads on the drive units, necessitating a detailed analysis of the causes of their overloads. Overloads can occur due to uneven load distribution among drives, fluctuations in supply voltage, as well as wear of mechanical components. These factors have a direct effect on electric power quality parameters, including voltage stability, frequency, phase symmetry, and power factor. Deviations of these indicators from the standards result in a decrease in the overall system efficiency and an increase in operating costs. Therefore, a pressing task is the development of methods for diagnosing and classifying faults, as well as optimizing electric drive parameters, taking into account the specific operating conditions of multi-drive conveyor systems, which will enhance their reliability and reduce energy consumption.

KEY WORDS

Electric drive, overload, technological disturbances, conveyor mechanisms, electric power quality, transient processes, harmonics, phase symmetry, reliability degradation, industrial power systems..

ELEKTR YURITMALARNING ORTIQCHA YUKLANISHI NATIJASIDA YUK KO'TARUVCHI KONVEYER MEXANIZMLARIDA YUZAGA KELADIGAN TEXNOLOGIK BUZILISHLARNING ELEKTR ENERGIYASI SIFATIGA TA'SIRINI BAHOLASH

A.N.Tovboev, I.B.Togaev

Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, Navoiy, O'zbekiston

ANNOTASIYA

Kelib tushgan:
16.07.2025

Ko'rib chiqilgan:
21.07.2025

Qabul qilingan:
05.08.2025

Chop etilgan:
10.10.2025

Ushbu maqolada elektr yuritmalarning ortiqcha yuklanish sabablari, yuzaga keladigan buzilishlarni tasniflash hamda ularning elektr energiyasi sifat ko'rsatkichlariga — kuchlanish, chastota, fazalar simmetriyasi va quvvat koeffitsiyentiga ta'sirini aniqlash bo'yicha keng qamrovli tahlil amalga oshiriladi. Hozirgi vaqtda yuk ko'taruvchi mexanizmlarning ortishi transport masofasining uzayishiga olib kelib, konveyer elektr yuritma tizimining ekspluatatsion xarajatlarini oshirmoqda. Bundan tashqari, ruda tashish uchun mo'ljallangan elektr yuritma tizimi ko'plab qurilmalar bilan ishlaydi va ularning parametrlarini optimallashtirish zarur. Zamonaviy konchilik korxonalarida elektr yuritma tizimlarining ishonchligi va energiya samaradorligiga alohida e'tibor qaratiladi. Transport liniyalari uzunligining ortishi yuritma agregatlaridagi mexanik va elektr yuklamalarning oshishiga sabab bo'lib, ularning ortiqcha yuklanish sabablarini batafsil tahlil qilishni taqozo etadi. Ortiqcha yuklanishlar yuritmalar o'rtasida yuklamaning notekis taqsimlanishi, ta'minlovchi kuchlanishning tebranishlari, shuningdek, mexanik qismlarning yoyilishi tufayli yuzaga kelishi mumkin. Ushbu omillar elektr energiyasi sifat ko'rsatkichlariga — kuchlanish barqarorligi, chastota, fazalar simmetriyasi va quvvat koeffitsienti — bevosita ta'sir ko'rsatadi. Ushbu ko'rsatkichlarning me'yorlardan chetlanishi tizimning umumiy samaradorligini pasaytiradi va ekspluatatsion

xarajatlarni oshiradi. Shu bois, ko'p yuritмага ega konveyer tizimlari ishining o'ziga xos xususiyatlarini hisobga olgan holda nosozliklarni diagnostika qilish va tasniflash usullarini ishlab chiqish hamda elektr yuritma parametrlarini optimallashtirish dolzarb vazifa bo'lib, bu ularning ishonchliligini oshirish va energiya sarfini kamaytirishga imkon beradi.

KALIT SO'ZLAR

Elektr yuritma, ortiqcha yuklanish, texnologik buzilishlar, konveyer mexanizmlari, elektr energiyasi sifati, o'tkinchi jarayonlar, garmonikalar, fazalar simmetriyasi, ishonchlikning pasayishi, sanoat energiya tizimlari.

Библиографический список

1. Tovbaev A.N., Mardonov D.Sh., Mamatazimov A.X., Samatova S.S. Analysis of subharmonic oscillations in multi-phase ferroresonance circuits using a mathematical model// Apitech III 2021. Journal of Physics: Conference Series 2094 (2021) 052048 IOP Publishing.
2. Tog'ayev I.B., Tursunova A.A., Eshmirzayev M.A. Monitoring of overhead power lines.// Problems and scientific solutions. Vol.6, Issue 4, 2022 Australia, Melbourne. 267-271pt.
3. Dorosinsky, A.Yu. Algorithms and methods for determining the error of means simulating electrical signals of sine-cosine rotating transformers / Dorosinsky A.Yu.// XXI century: results of the past and problems of the present: scientific. Penza State Technical University, 2012. No. 6. pp. 42-46.
4. Baldenko D.F., Baldenko F. D., Gnoev A.N. Screw downhole engines (Reference manual). M.: Nedra, 1999. 375 p.
5. Milovzorov G.V. Analysis of instrumental errors of inclinometric devices. – Ufa, ed. "Gilem", 1997. 184 pp
6. Safronov V.A. Theory and practice of using angle sensors based on sine-cosine rotating transformers. Components and Technologies Magazine, Moscow, 2014, №.4. pp.58-62.

Information about authors:

Tovboev Akram Nurmonovich	–	<i>DSc, Acting Professor of the "Energy" Department, Navoi State Mining and Technological University, 210100, Uzbekistan, Navoi city, Galaba Str. 76B. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2677-6977, e-mail: tovboyev70@mail.ru.</i>
Togaev Islom Bekpulat ogli	–	<i>Assistant of the "Electric Power Engineering" Department, Navoi State Mining and Technological University, 210100, Uzbekistan, Navoi city, Galaba St.76B ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4481-874X, e-mail: togayev.islom@mail.ru.</i>