

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Администрация Правительства Кузбасса
Администрация г. Новокузнецка
Институт проблем управления им. Трапезникова РАН
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН
АНО «Научно-образовательный центр «Кузбасс»**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
(в образовании, науке и производстве)
AS' 2022**

**ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
(с международным участием)**

15-16 декабря 2022 г.

**Новокузнецк
2022**

УДК 658.011.56
С 409

Редакционная коллегия:

д.т.н., проф. В.В. Зимин (ответственный редактор),
д.т.н., проф. С.М. Кулаков, д.т.н., проф. В.Ю. Островляничик,
д.т.н., проф. Л.Д. Павлова, д.т.н., доц. И.А. Рыбенко,
к.т.н., доц. В.И. Кожемяченко (технический редактор).

С 409 Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'2022: труды Всероссийской научно–практической конференции (с международным участием), 15-16 декабря 2022 г. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет ; под общ. ред. В.В. Зимина. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2022. – 632 с.

ISBN 978-5-7806-0583-6

Труды конференции посвящены научным и практическим вопросам в области современных систем автоматизации и информатизации учебных, исследовательских и производственных процессов. Представлены результаты исследования, разработки и внедрения методического, математического, программного, технического и организационного обеспечения систем автоматизации и информационно-управляющих систем в различных сферах деятельности.

Сборник трудов ориентирован на широкий круг исследователей, научных работников, инженерно-технический персонал предприятий и научно-исследовательских лабораторий, преподавателей вузов, аспирантов и обучающихся по программам бакалавриата и магистратуры.

УДК 658.011.56

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2022

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ВЕНТИЛЯТОРНОЙ НАГРУЗКОЙ

Сарсембин А.О., Кубарев В.А., Асмаатбеков А.К.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
г. Новокузнецк, Россия, kubarev.sibsiu@list.ru

Аннотация. В настоящей работе произведён расчёт силового трансформатора, предложена модель и проведено моделирование электропривода переменного тока с вентиляторной нагрузкой в среде Matlab Simulink, произведены исследования переходных процессов.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, прямой пуск, вентиляторная нагрузка.

Abstract. In this paper, the power transformer was calculated, a model was proposed and an AC drive with a fan load was simulated in the Matlab Simulink environment, and transients were studied.

Keywords: asynchronous motor, direct start, fan-type load.

Увеличение количества и установленной мощности электроприёмников с нелинейным и несимметричным характером нагрузки на транспорте и в быту, а также развитие технологических установок в промышленности приводят к ухудшению качества электрической энергии в системах электроснабжения.

В результате снижается эффективность работы, как самих систем электроснабжения, так и потребителей, подключённых к ним. Как следствие – электрооборудование, рассчитанное на работу в электрической системе при определённом уровне характеристик электрической энергии, во многих случаях эксплуатируется в неэффективных режимах, что приводит к отрицательным последствиям.

Не симметрия токов и напряжений влечёт за собой увеличение потерь электрической энергии в сетях и элементах её распределения. Ущерб от снижения качества электрической энергии обусловлен ухудшением энергетических показателей, снижением надёжности функционирования, увеличением потерь активной мощности и потребления активной и реактивной мощностей.

На современном этапе развития энергетики достаточно остро стоит вопрос перехода к энергосберегающим технологиям. Это вызвано возрастающим электропотреблением и снижением качества электрической энергии в различных отраслях [1-2].

Моделирование сложных энергетических систем позволяет дать качественную и количественную оценку процессов, проходящих в них. Поэтому чтобы определить возможность реализации указанной схемы и эффективность ее работы, необходимо провести имитационное моделирование. Используя возможности Simulink и SimPowerSystem можно не только моделировать, но и анализировать работу различных устройств. Библиотека блоков Sim Power System охватывает достаточно широкий спектр энергетического, измерительного и вспомогательного оборудования [3]. В то же время, если в стандартной библиотеке нет блока, моделирующего необходимое оборудование или алгоритм, то пользователь имеет возможность создать свой собственный блок.

На рисунке 1 представлена схема моделирования асинхронного двигателя с вентиляторной нагрузкой.

Для реализации идеального источника синусоидального напряжения, используется блок Three-Phase Source с выходным напряжением равное 35 кВ.

Для реализации силового трансформатора использовался блок Three-Phase Transformer (Two Windings). Который моделирует двухобмоточный трехфазный трансформатор. Модель Threephase Transformer (Two Windings) построена на основе трех однофазных трансформаторов. В модели может учитываться нелинейность характеристики намагничивания материала сердечника.

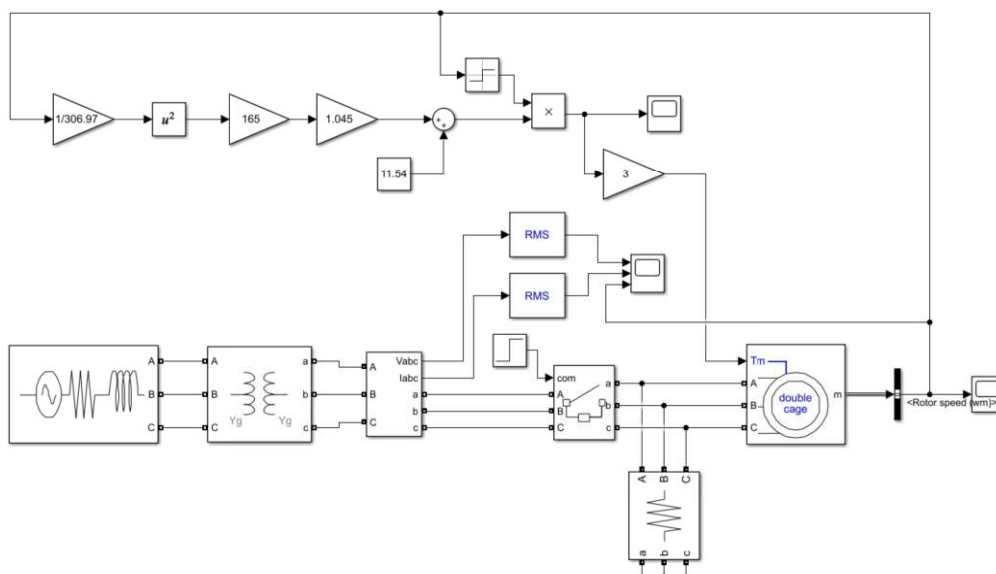


Рисунок 1 – Модель электропривода переменного тока с вентиляторной нагрузкой

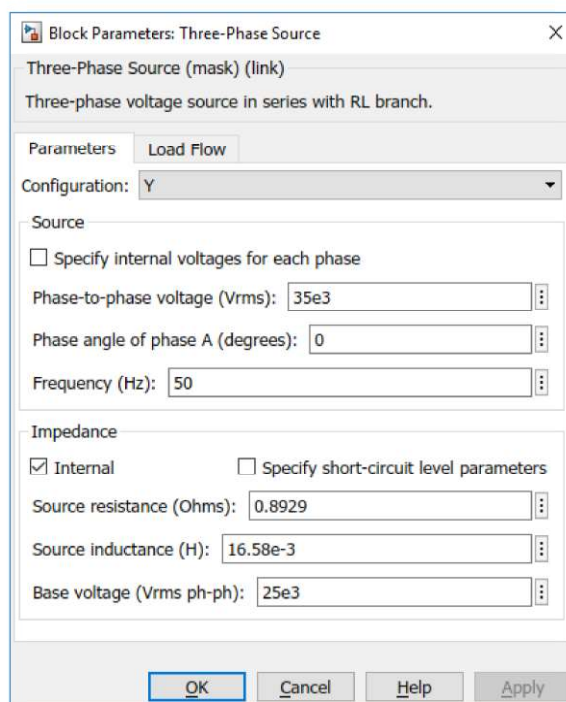


Рисунок 2 – Параметры блока AC Voltage Source

Модель двухобмоточного трансформатора из библиотеки Simulink – SimPowerSystems приведена на рисунке 3. Индуктивность L_m учитывает действие основного магнитного потока, а активное сопротивление R_m эквивалентно потерям в стали магнитопровода.

Для расчета был выбран трансформатор типа ТМ 1000 кВА 35/6,3 кВ. Трансформатор ТМ 1000 кВА 35/6,3 кВ с естественной циркуляцией масла. Предназначены для работы в системах передачи электроэнергии, обеспечивая при этом минимальные электрические потери в линиях электропередач. Применение трансформатора типа ТМ позволяет обеспечить потребителю надежное электроснабжение в течение всего срока эксплуатации. Расчет основан на использовании каталожных данных силового трансформатора. Особое внимание уделено расчету параметров характеристики намагничивания стали

магнитопровода для модели силового трансформатора. Расчет параметров модели силового трехфазного двухобмоточного трансформатора выполняется с учетом нелинейности его характеристики. Силовой трансформатор является нелинейным элементом энергосистемы, поэтому для анализа его работы в различных режимах необходимо располагать параметрами характеристики намагничивания стали магнитопровода.

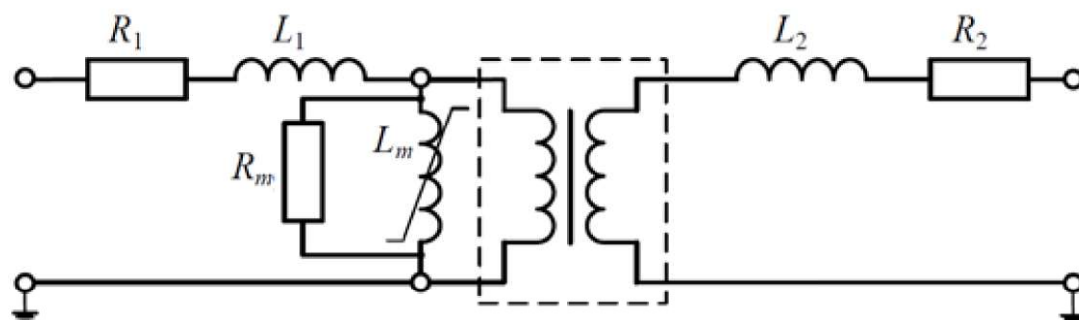


Рисунок 3 – Модель силового двухобмоточного трансформатора

Таблица 1 – Каталожные данные трансформатора ТМ - 1000/35/6

Тип	S _{ном.} кВА	Каталожные данные					
		U _{ном.} Обмоток кВ		U _к , %	ΔP _к , кВт	P _х , кВт	I _х , %
		ВН	НН				
ТМ - 1000/35/6	1000	35	6	6,5	11,6	2	1,4

В каталожных данных номинальные напряжения $U_{1ном}$, $U_{2ном}$ обмоток являются линейными величинами, значения мощностей $S_{ном}$, P_k и P_0 приводятся как суммарные для трёх фаз. Для расчёта схемы замещения трёхфазного трансформатора должны использоваться фазные величины. Соотношения по определению активного и индуктивного сопротивлений ветви намагничивания вытекают из принятой схемы замещения трансформатора рисунок 3.

Следует отметить, что в о. е. индуктивность и индуктивное сопротивление имеют одинаковое значение. Расчётные выражения для вычисления параметров схемы замещения моделируемого трансформатора приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчёт параметров модели замещения трансформатора

Наименование величины	Расчетные выражения
Номинальная мощность каждой фазы трансформатора	$S_{ном} = \frac{S_{ном}}{3} = \frac{1000 * 10^3}{3} = 333,33 \text{ кВА}$
Фазное напряжение первичной обмотки при соединении «звезда»	$U_{1ф} = \frac{U_{1ном}}{\sqrt{3}} = \frac{35 * 10^3}{\sqrt{3}} = 20,20 \text{ кВ}$
Номинальный фазный ток первичной обмотки трансформатора, соединенной по схеме «звезда»	$I_{1фном} = \frac{S_{фном}}{U_{1ф}} = \frac{333,33 * 10^3}{20,20 * 10^3} = 16,5 \text{ А}$
Из опыта холостого хода	
Фазный ток холостого хода трансформатора	$I_{хф} = \frac{I_x * I_{1фаз}}{100} = \frac{1,4 * 16,5}{100} = 0,23 \text{ А}$
Полное сопротивление ветви намагничивания схемы замещения при холостом ходе	$Z_x = \frac{U_{1ф}}{I_{хф}} = \frac{20,20 * 10^3}{0,23} = 87,83 \text{ кОм}$

Продолжение таблицы 2

Наименование величины	Расчетные выражения
Мощность потерь холостого хода на фазу	$P_{x\phi} = \frac{P_x}{3} = \frac{2 \cdot 10^3}{3} = 0,6 \text{ кВт}$
Коэффициент мощности холостого хода	$\cos \varphi_x = \frac{P_{x\phi}}{U_{1\phi} \cdot I_{x\phi}} = \frac{0,6 \cdot 10^3}{20,20 \cdot 10^3 \cdot 0,23} = 0,129$
Активное сопротивление ветви намагничивания	$R_m = \frac{Z_x}{\cos \varphi_x} = \frac{87,83 \cdot 10^3}{0,129} = 680 \text{ кОм}$
Индуктивное сопротивление ветви намагничивания	$X_m = \frac{Z_x}{\sin \varphi_x} = \frac{87,83 \cdot 10^3}{\sqrt{1 - 0,129^2}} = 88,5 \text{ кОм}$
Из опыта короткого замыкания	
Фазное напряжение короткого замыкания	$U_{к\phi} = \frac{U_{1\phi} \cdot U_k}{100} = \frac{20,20 \cdot 6,5}{100} = 1,31 \text{ кВ}$
Полное сопротивление короткого замыкания	$Z_k = \frac{U_{к\phi}}{I_{1\phi\text{ном}}} = \frac{1,31 \cdot 10^3}{16,5} = 79,3 \text{ Ом}$
Мощность потерь короткого замыкания на фазу	$P_{к\phi} = \frac{P_k}{3} = \frac{11,6 \cdot 10^3}{3} = 3,8 \text{ кВт}$
Коэффициент мощности короткого замыкания	$\cos \varphi_k = \frac{P_{к\phi}}{U_{к\phi} \cdot I_{1\phi\text{ном}}} = \frac{3,8 \cdot 10^3}{1,31 \cdot 10^3 \cdot 16,5} = 0,175$
Активное сопротивление короткого замыкания	$R_k = Z_k \cdot \cos \varphi_k = 79,3 \cdot 0,175 = 13,87 \text{ Ом}$
Индуктивное сопротивление короткого замыкания	$X_k = Z_k \cdot \sin \varphi_k = 79,3 \cdot \sqrt{1 - 0,175^2} = 78 \text{ Ом}$
Базисные условия	
Базисное значение тока	$I_{\text{баз}} = \frac{Z_H}{U_{1\phi}} \cdot \sqrt{2} = \frac{333,3 \cdot 10^3}{20,20 \cdot 10^3} \cdot \sqrt{2} = 23,33 \text{ А}$
Базисное значение сопротивления	$R_{\text{баз}} = \frac{U_{1\phi}}{I_{\text{баз}}} = \frac{20,20 \cdot 10^3}{23,33} = 865,83 \text{ Ом}$
Перевод полученных значений во. е. (индуктивность и активное сопротивление первичной и вторичной обмоток в о. е. будут равны)	
Активное сопротивление ветви намагничивания	$R_{m(o.e.)} = \frac{R_m}{R_{\text{баз}}} = \frac{680 \cdot 10^3}{865,83} = 785,37$
Индуктивность ветви намагничивания	$L_{m(o.e.)} = \frac{X_m}{R_{\text{баз}}} = \frac{88,5 \cdot 10^3}{865,83} = 102,21$
Активное сопротивление первичной и вторичной обмоток трансформатора	$R_{1(o.e.)} = R_{2(o.e.)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_k}{R_{\text{баз}}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{13,87}{865,83} = 0,008$
Индуктивность первичной и вторичной обмоток трансформатора	$L_{1(o.e.)} = L_{2(o.e.)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{X_k}{R_{\text{баз}}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{78}{865,83} = 0,045$

Three-Phase Transformer (Two Windings) (mask) (link)

This block implements a three-phase transformer by using three single-phase transformers. Set the winding connection to 'Yn' when you want to access the neutral point of the Wye.

Click the Apply or the OK button after a change to the Units popup to confirm the conversion of parameters.

Configuration Parameters Advanced

Units SI

Nominal power and frequency [Pn(VA) , fn(Hz)] [1000000 , 50]

Winding 1 parameters [V1 Ph-Ph(Vrms) , R1(Ohm) , L1(H)] [35000*1.4 0.008 0.045]

Winding 2 parameters [V2 Ph-Ph(Vrms) , R2(Ohm) , L2(H)] [6000*1.4 0.008 0.045]

Magnetization resistance Rm (Ohm) 785

Magnetization inductance Lm (H) 102.21

Saturation characteristic [i1(A) , phi1(V.s) ; i2 , phi2 ; ...] [0 0;0.71258 343.07;296.9 434.55]

Initial fluxes [phi0A , phi0B , phi0C] (V.s): 5094764693 46.8986952706211 44.7848142058479

Рисунок 4 – Параметры блока Three-Phase Transformer

С помощью блока Asynchronous Machine моделируем асинхронную электрическую машину в двигательном режиме.

Модель асинхронного двигателя получена из раздела библиотеки SimPowerSystem. Для расчета был выбран высоковольтный асинхронный электродвигатель типа 4АЗМ-315/6000 [7].

Block Parameters: Asynchronous Machine SI Units

Asynchronous Machine (mask) (link)

Implements a three-phase asynchronous machine (wound rotor, squirrel cage or double squirrel cage) modeled in a selectable dq reference frame (rotor, stator, or synchronous). Stator and rotor windings are connected in wye to an internal neutral point.

Configuration Parameters Advanced Load Flow

Nominal power, voltage (line-line), and frequency [Pn(VA),Vn(Vrms),fn(Hz)]: [3.121e+05 6000 50]

Stator resistance and inductance [Rs(ohm) Lls(H)]: [0.5831 0.1139]

Cage 1 resistance and inductance [Rr1' (ohm) Llr1' (H)]: [0.001038 0.3586]

Cage 2 resistance and inductance [Rr2' (ohm) Llr2' (H)]: [51.54 0.1139]

Mutual inductance Lm (H): 0.2714

Inertia, friction factor, pole pairs [J(kg.m^2) F(N.m.s) p()]: [0.05 0.005879 1]

Initial conditions

[slip, th(deg), ia,ib,ic(A), pha,phb,phc(deg)]:

[1 0 0 0 0 0 0]

☐ Simulate saturation Plot

[i(Arms) ; v(VLL rms)]: 302.9841135, 428.7778367 ; 230, 322, 414, 460, 506, 552, 598, 644, 690

Рисунок 5 – Параметры блока Asynchronous Machine

Для выполнения математических операции используется блок Sum который, выполняет сложение или вычитание на своих входах.

На временном отрезке от 0 до 2,4 с. на двигатель подаётся напряжение, и двигатель разгоняется со скоростью 306,97 рад/с. под нагрузкой 176 Н·М.

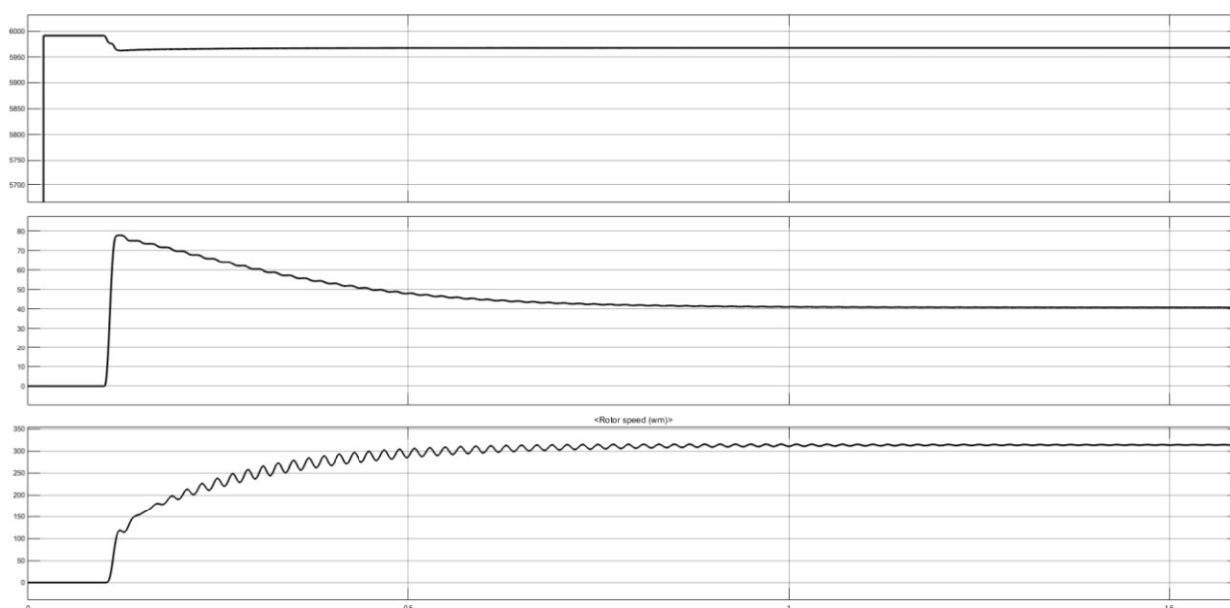


Рисунок 6 – Графики напряжения, тока и скорости ротора двигателя под нагрузкой

Закключение. В настоящей работе произведён расчёт силового трансформатора, предложена модель и проведено моделирование электропривода переменного тока с вентиляторной нагрузкой в среде Matlab (Simulink), произведены исследования переходных процессов.

Библиографический список

1. Воротницкий В.Э., Железко Ю.С., Казанцев В.Н., Пекелис В.Г., Файбисович Д.Л. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем. М.: Энергоатомиздат, 1983. 368 с.
2. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. М.: НЦ ЭНАС, 2003. 280 с.
3. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. - М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. - 288 с.: ил.
4. Дьяконов, В. П. и Пеньков, А. А. MATLAB и Simulink в электроэнергетике. Справочник. –М : Горячая линия-Телеком, 2009.
5. Ануфриев И. Е. Самоучитель MatLab 5.3/6.x / И. Е. Ануфриев.– СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
6. Джендубаев Э.А. Разработка модели двухтрансформаторной подстанции в среде MATLAB и её расширениях Simulink и SimPowerSystems. Известия Северо-Кавказской государственной гуманитарно-технологической академии. РИЦ СевКав-ГГТА, 2014 г., № 1.
7. [Электронный ресурс], (Дата обращения 06.11.2022) URL: <https://vp-alliance.ru/magazin/product/elektrodvigatel-asinkhronnyy-4azm-315/6000-ukhl4>

ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ НА АГРЕГАТАХ ЦЕХА ХИМИЧЕСКОГО УЛАВЛИВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА КОКСОХИМИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

Бабушкин С.В.¹, Кубарев В.А.²

¹АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»
г. Новокузнецк, Россия, simen727@mail.ru

²ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
г. Новокузнецк, Россия

Аннотация. В статье описано прикладная задача внедрения системы предиктивной аналитики на оборудовании коксохимического производства. Проведено сравнение сроков наработки оборудования при планово-предупредительных ремонтах и при использовании прикладных инструментов выявления тенденции по графикам работы соответствующего оборудования. Выполнен сравнительный анализ полученных результатов.

Ключевые слова: промышленность, ремонты, аналитика, инструменты MS Excel, статистика, вибродиагностика.

Abstract. The article describes the applied task of implementing a predictive analytics system on coke production equipment. A comparison was made of the operating time of equipment during scheduled preventive maintenance and when using applied tools to identify trends according to the schedules of operation of the corresponding equipment. A comparative analysis of the obtained results is carried out.

Keywords: industry, repairs, analytics, MS Excel tools, statistic, vibration diagnostics.

В настоящий момент на предприятиях возникает проблема частых незапланированных выходов из строя механизмов и оборудования из-за их «морального устаревания». Как правило это инфраструктурное оборудование, которое не приносит прибыли, но без его участия производственный процесс невозможен. Большие финансовые вложения на обновление дорогостоящих агрегатов трудно аргументировать, поэтому для поддержания подобного оборудования применяют плановые ремонты. В большинстве случаев определение межремонтного периода определяется людьми на основании ряда факторов. Эти промежутки берут с занижением для подстраховки от незапланированных выходов из строя, что увеличивает стоимость обслуживания. Поэтому требуется внедрять системы постоянного контроля за состоянием оборудования с возможностью создания прогноза времени выхода из строя. Предсказательная аналитика позволит задавать межремонтные интервал по показаниям контролируемых параметров.

В качестве объекта внедрения были приняты нагнетатели коксового газа цеха химического улавливания и производства коксохимической продукции (ЦХУиПКХП) АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Они вытягивают газ от коксовых печей и подают его по газопроводам в аппаратуру для улавливания химических продуктов. Остановка нагнетателей делает невозможным работу коксовых батарей, необходимых для обеспечения металлургического производства.

Для исследования на нагнетатель №1 были установлены датчики виброскорости ДВСТ-1-50 производства ООО «Виброприбор». Схема расположения датчиков представлена на рисунке 1.

Полученные значения собирались в базу данных. В табличном виде собранные данные по виброскорости представлены на рисунке 2.

Из журнала работы была получена информация, что запущен нагнетатель был 05.05.2022 года а штатная остановка была осуществлена 28.09.2022 года. Фактическое время работы составило 5664 часа вместо 8000 часов по регламенту работы (70% от требуемой величины).

Тарасенко А.А.

Применение стемминга для информационного поиска среди медицинского кластера документов 547

Рыбка А.Д., Пестунов А.И., Белов В.М.

Сессии в ASP.NET или как создать собственный сервис для работы с ними 551

СЕКЦИЯ 4. Современный автоматизированный электропривод и промышленная электроника

Стищенко К.П., Кипервассер М.В.

Причины и влияние искажений питающего напряжения на функционирование устройств микропроцессорной электрической централизации железнодорожного транспорта 555

Федоров В.В.

Управление электроприводом постоянного тока с применением регулятора на нечеткой логике 559

Клевцов С.А., Модзелевский Д.Е.

Исследование системы векторного управления асинхронного многодвигательного электропривода кантования угольного вагоноопрокидывателя «ВРС-93-110М» 564

Бедарев М.А., Коновалов О.В., Кипервассер М.В.

Проблемы применения силовых трансформаторов с группой соединения обмоток Y/Yn-0 в распределительных сетях 0,4 кв. 571

Мезенцева А.В.

Вопросы выбора и применения технических средств регулируемого электропривода буровых установок..... 575

Филина О.А., Прокопенко С.С.

Линейные модели систем в пространстве состояний 578

Островляничик В.Ю., Кубарев В.А., Зайцев Н.С., Кузнецова Е.С.

Имитационное моделирование системы автоуправления с переменной структурой для векторного управления синхронным электродвигателем классической конструкции 586

Островляничик В.Ю., Маршев Д.А., Кубарев В.А., Поползин И.Ю.

Синтез адаптивного управления магнитным потоком возбуждения статора асинхронного двигателя с фазным ротором..... 592

Сарсембин А.О., Кубарев В.А., Асмаатбеков А.К.

Моделирование электропривода переменного тока с вентиляторной нагрузкой 599

Бабушкин С.В., Кубарев В.А.

Внедрение системы предиктивной аналитики на агрегатах цеха химического улавливания и производства коксохимической продукции АО «ЕВРАЗ ЗСМК» 605

Колчагов П.О., Борщинский М.Ю.

Разработка регулятора мощности с помощью системы автоматизированного проектирования Proteus..... 608

Рогожников И.П.

Технология подготовки печатных плат к производству..... 612

Научное издание

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
(в образовании, науке и производстве)
AS' 2022**

**ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ**
(с международным участием)

15-16 декабря 2022 г.

Под общей редакцией д.т.н., доц. В.В. Зимина

Техническое редактирование и компьютерная верстка В.И. Кожемяченко

Подписано в печать 05.12.2022 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 37.13. Уч.-изд. л. 40.40. Тираж ____ экз. Заказ ____.

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, зд. 42.
Издательский центр СибГИУ