УДК 621.31

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ ГЛАВНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПОДЗЕМНОМУ РУДНИКУ ПО ДОБЫЧЕ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД

Семёнов А.С., Кугушева Н.Н., Хубиева В.М.

Политехнический институт (филиал) ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Мирный, e-mail: sash-alex@yandex.ru

Данная научная статья посвящена исследованию режимов работы электропривода вентилятора главного проветривания рудника при помощи математического моделирование в пакете программ MatLab. Произведено описание подземного рудника по добыче алмазосодержащих пород и его системы вентилирования. Описана вентиляторная установка главного проветривания. Выбран тип вентилятора и двигателя для вентиляторной установки главного проветривания. Принята система управления электроприводом. Представлено описание принципа работы системы частотно-регулируемого электропривода. Произведено моделирование режимов работы электродвигателя вентилятора с частотно-регулируемым электроприводом. Получены результаты моделирования основных параметров электродвигателя: ток, скорость вращения, электромагнитный момент. Результаты моделирование представлены в виде графиков зависимостей исследуемых величин от времени моделирования. Сделаны выводы о целесообразности использования системы частотно-регулируемого управления для синхронного двигателя вентиляторной установки главного проветривания применительно к подземному руднику по добыче алмазосодержащих пород.

Ключевые слова: подземный рудник, вентилятор главного проветривания, система электропривода, частотно-регулируемый электропривод, моделирование, режимы работы

MODELINGMODES OF VARIABLE FREQUENCY ELECTRIC DRIVE THE VENTILATION FANAT THE MINE FOR THE EXTRACTION KIMBERLITES

Semenov A.S., Kugusheva N.N., Khubieva V.M.

Polytechnic institute (branch) of North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Mirny, e-mail: sash-alex@yandex.ru

This article is devoted to research of modes to operation of the fan of the main airing of mine with the help of mathematical modeling software package MatLab. Produced description of the underground mine on extraction of kimberlites and ventilation systems. Describes the fan of the main airing.Selected type of fan and motor for the main ventilation fan installation.Adopted by the drive control system.Describes the principle of operation of a system of frequency-regulated electric drive.A simulation modes of operation of the fan motor with frequency-regulated electric drive. The results of modeling of the main parameters of the motor: current, speed rotation, electromagnetic torque. The results of modeling are presented in diagrams of dependences of the investigated variables from the time of the simulation. Conclusions are made about the expediency of use of the system variable-frequency control for synchronous motor of the fan installation of the main airing in relation to an underground mine on extraction of kimberlites.

Keywords: mine, the main fans, the system electric drive, variable frequency electric drive, modeling, modes

В настоящее время на территории Республики Саха (Якутия) действуют три подземных рудника, и один находится на стадии строительства. Качество алмазов, добываемых в них, существенно улучшается из-за меньшей кусковатости руды, которая поступает на обогатительную фабрику и проходит меньше этапов дробления, нежели руда, поступающая с карьера. На рудниках за качеством и количеством воздуха поступающего туда следит пылевентиляционная служба (ПВС), в задачи которой входит контроль концентрации метана, вредных примесей в рудничной атмосфере, ежеквартальный расчет необходимого объема воздуха для снабжения рудника, а также эксплуатация вентиляторных установок. Основным средством, обеспечивающим атмосферные условия в подземных горных выработках, являются вентиляторные установки главного проветривания (ВГП), которые располагаются на поверхности рудника в отдельном здании. Со стволом рудника вентиляторы соединяются подводящим или нагнетательным каналом, выполняемым из железобетона. Сечение канала должно обеспечивать скорость воздушного потока не более 15 м^3/мин.

Большинство вентиляторных установок главного проветривания работает на всасывание, то есть перемещает не обычный атмосферный, а рудничный воздух, отличающийся от атмосферного наличием рудничных газов, пара, значительного количества пыли, а иногда штыба и воды. В связи с этим к вентиляторным установкам предъявляются специальные требования в отношении устойчивости к износу и коррозии, обтекаемых воздухом поверхностей составных частей установок. В нашем случае используется вентиляторная установка марки ВЦД, работающая как на нагнетание, так и на всасывание. Двусторонние вентилятор-

ные установки с центробежными реверсивными вентиляторами типа ВЦД состоят из двух вентиляторов (рабочего и резервного), двух приводных синхронных электродвигателей, двух систем смазки, унифицированных комплектов аппаратуры автоматизации, вспомогательного оборудования для переключения воздушной струи с рабочего на резервный вентилятор, здания, каналов, фундаментов и глушителя шума. В здании располагают вентиляторы с приводными электродвигателями, системы смазки (индивидуальные для каждого вентилятора) и унифицированные комплекты аппаратуры автоматизации. Здание оборудуется грузоподъемными средствами, необходимыми для обслуживания и ремонта вентиляторов. Здание должно быть оборудовано крышными вентиляторами для нагнетательной вентиляции, которые включаются при остановке обоих вентиляторов главного проветривания во избежание проникновения в здание загазованного воздуха.

Объектом исследования является привод вентилятора главного проветривания подземного рудника по добыче алмазосодержащих пород типа ВЦД-42,5 (вентилятор центробежный двусторонний с диаметром рабочего колеса 42,5 дм). Главной целью исследования является выбор мощности электропривода, его режима и продолжительности работы, моделирование его характеристик, получение сравнительных результатов для заключения по работе. Вентиляторные установки главного проветривания используются для подачи воздуха в рудник и располагаются непосредственно у ствола рудника. Актуальность данной статьи заключается в моделировании режимов работы синхронного электродвигателя с системой частотно-регулируемого электропривода (ЧРП) и применении их на практике. Моделирование пуска синхронного двигателя ранее рассматривалось в статьях [2, 3, 5 и 11].

Целью моделирования является построение характеристик зависимости момента и угловой скорости вращения электродвигателя от времени при пуске, а также определение перерегулирования, разрегулирования и времени переходного процесса. Выполним моделирование на модели с частотно-регулируемым приводом. Для проведения моделирования используем данные двигателя СДМЗ-17-59-12УХЛ4, которые определяем по [1, 4 и 10].

Для реализации задачи по исследованию режимов работы нашего оборудования собираем математическую модель пуска синхронного двигателя в пакете программ MatLab. Пакет программ MatLab предназначен для аналитического и численного решения различных математических задач, а также для моделирования электротехнических и электромеханических систем, благодаря приложениям Simulink и Sim Power System. Более подробная информация о пакете программ MatLab представлена в [7, 10].

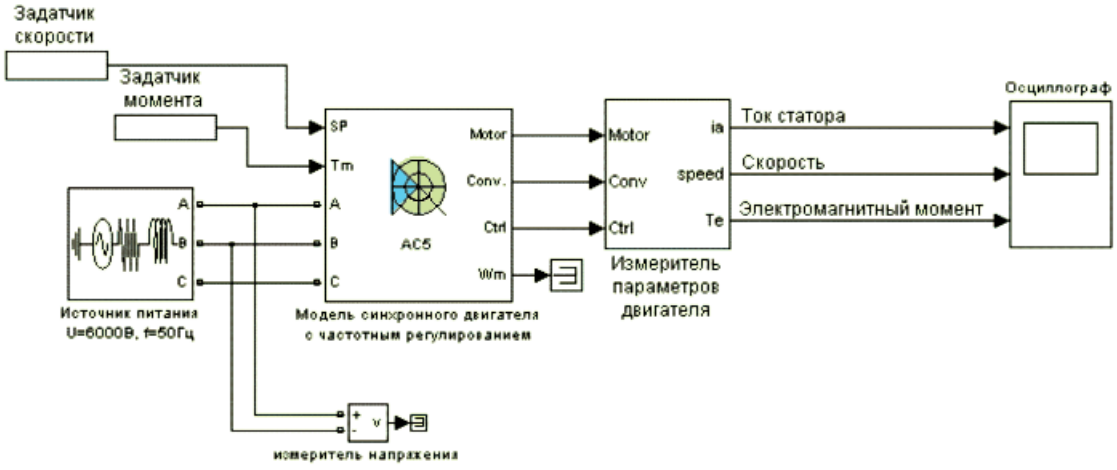

Рис. 1. Модель синхронного электропривода с частотным регулированием

Математическую модель можно условно разделить на три части: блоки управления, блоки преобразователей и модель двигателя. Модель электродвигателя представляет собой функциональную зависимость передаточных блоков, блоков усилителей, логики и нелинейных функций. Модель двигателя состоит из механической части и блока преобразования момента. При использовании моделей с частотным регулированием время установления переходных процессов возрастает в несколько раз, но зато их протекание становится более плавным и точным. Рассмотрим более подробно, что собой представляет модель синхронного двигателя с частотным регулированием, и сделаем небольшое описание данной модели.

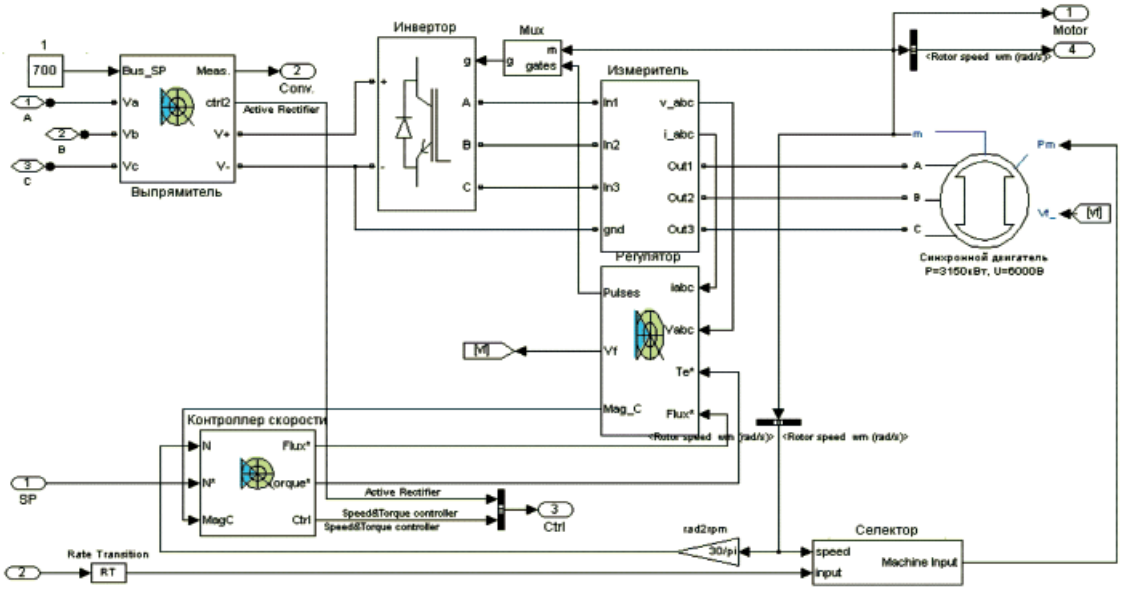

Рис. 2. Структура модели синхронного двигателя с частотным регулированием

Из источника питания переменное напряжение поступает на выпрямитель. Затем уже постоянное напряжение поступает на преобразователь тока и на инвертор, в котором оно опять преобразуется в переменное и питает сам синхронный двигатель. В это время из задатчиков скорости и момента сигнал поступает на контроллер скорости, туда же приходит сигнал обратной связи из механической части двигателя и регулятора. После всех операций сигнал из контроллера скорости поступает в измеритель параметров двигателя, где обрабатывается и выдаёт окончательное значение скорости вращения двигателя.

Далее после всех произведенных расчетов заносим параметры двигателя в специальное окно. В этом окне задаются основные параметры синхронного электродвигателя, такие как мощность, напряжение, частота, сопротивление и индуктивность обмоток, момент инерции, число пар полюсов.

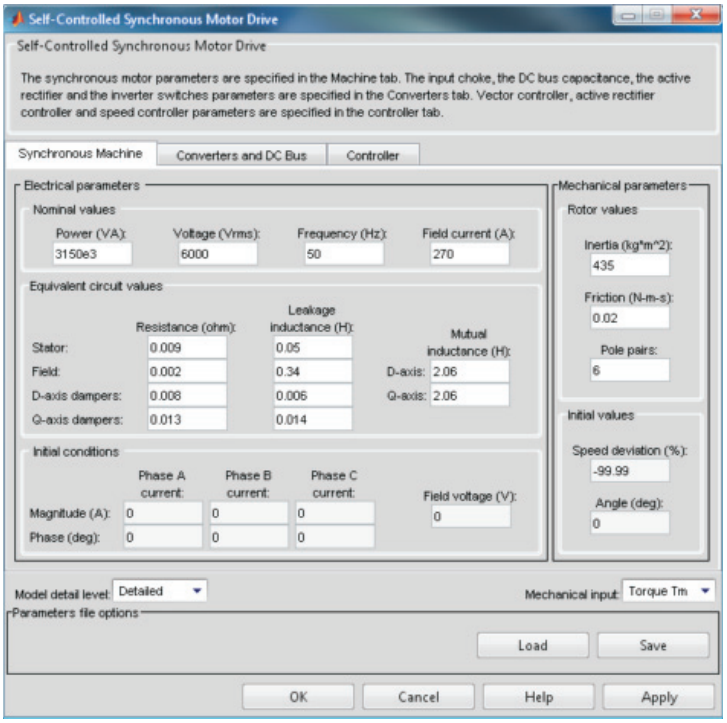

Рис. 3. Окно параметров синхронного двигателя

После определения всех параметров и внесения их в окно параметров модели двигателя, производим моделирование и представляем его результаты (рис. 4).

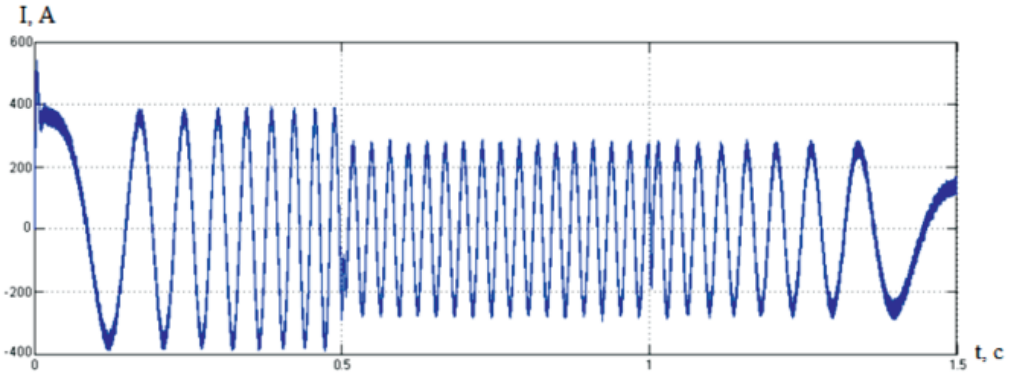

Рис. 4. Ток статора синхронного двигателя

На рис. 4 показана зависимость тока статора синхронного двигателя от времени моделирования. Пусковой ток при запуске двигателя достигает значения 400 А, после выхода скорости на номинальное значение ток снижается до 320 А, что почти соответствует расчетному номинальному току.

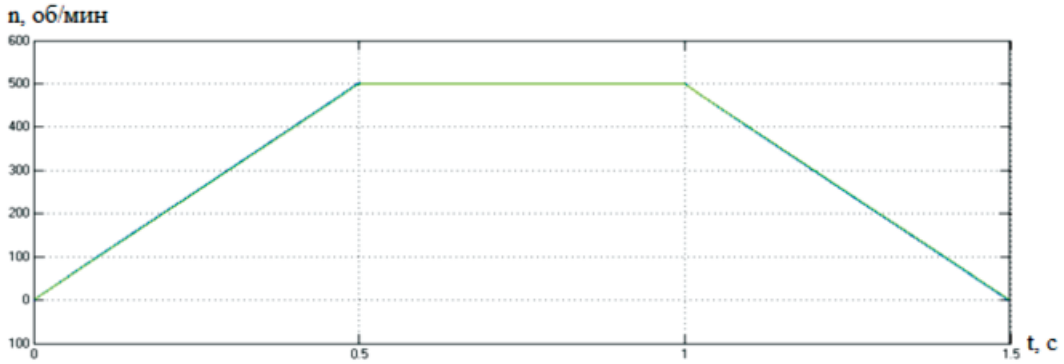

Рис. 5. Скорость вращения синхронного двигателя

На графике (рис. 5) показана скорость вращения двигателя в зависимости от времени моделирования. Здесь можно выделить три основных режима работы двигателя:

а) пуск двигателя;

б) работа двигателя на номинальной скорости;

в) торможение двигателя.

Анализируя характер графика скорости, можно утверждать, что ко времени 0,5 с после пуска двигателя скорость вращения двигателя выходит на свое номинальное значение 500 об/мин. Указанный промежуток времени показывает, что система удовлетворяет требованию по быстродействию. Система является устойчивой, значение колебательности отсутствует.

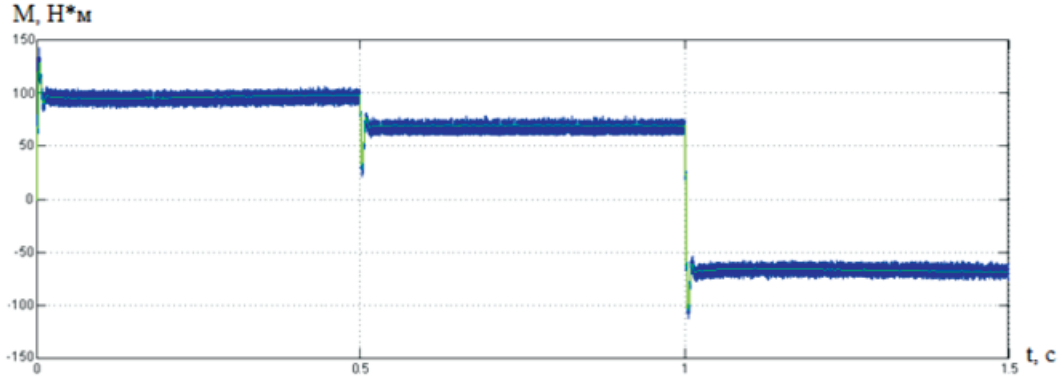

Рис. 6. Электромагнитный момент синхронного двигателя

На графике момента (рис. 6) видно, что при пуске двигателя пусковой момент составляет 100 кН·м, а при выходе скорости на свое номинальное значение он снижается до 60 кН·м, что совпадает с расчетными данными.

В результате проделанной работы была создана модель функционального уровня системы синхронный двигатель с частотным регулированием. В ходе работы были определены оптимальные параметры эксперимента, обеспечивающие выполнение расчетов при необходимой точности и, кроме того, обеспечивающие лучшую наглядность результатов. Результаты эксперимента представлены в графиках и таблице. Оценка результатов позволяет считать данную систему удовлетворяющей всем целям и требованиям. Можно однозначно считать использование частотного регулирования более предпочтительным для синхронного двигателя вентиляторной установки главного проветривания рудника. Описание других вариантов использования частотно-регулируемого электропривода на горных предприятиях изложено в работах [6, 8 и 9].

Список литературы

1. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., доп. – М.: Высш. шк., 2000. – 255 с.

2. Рушкин Е.И., Семёнов А.С. Анализ энергоэффективности системы электропривода центробежного насоса при помощи моделирования в программе MATLAB // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8. – С. 341–342.

3. Рушкин Е.И., Семёнов А.С. Исследование системы частотно-регулируемого электропривода вентилятора главного проветривания при помощи моделирования // Технические науки – от теории к практике: материалы XX международной заочной научно-практической конференции. (17 апреля 2013 г.). – Новосибирск: Изд. «СибАК», 2013. – С. 34–42.

4. Семёнов А.С. Моделирование автоматизированного электропривода: Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 140601 – «Электромеханика». – М.: Изд-во «Спутник+», 2012. – 60 с.

5. Семёнов А.С. Моделирование режима пуска синхронного двигателя электропривода насоса ГрАТ-4000 // Наука в центральной России. – 2012. – № 2. – С. 23–27.

6. Семёнов А.С. Применение системы электропривода с преобразователем частоты и автономным инвертором напряжения на проходческом комбайне // Технические науки – от теории к практике: материалы XVIII международной заочной научно-практической конференции. (20 февраля 2013 г.). – Новосибирск: Изд-во «СибАК», 2013. – С. 71–78.

7. Семёнов А.С. Программа MATLAB: Методические указания к лабораторным работам для студентов специальности 140211 – «Электроснабжение». – М.: Изд-во «Спутник+», 2012. – 40 с.

8. Семёнов А.С., Пак А.Л., Шипулин В.С. Моделирование режима пуска электродвигателя погрузочно-доставочных машин применительно к рудникам по добыче алмазосодержащих пород // Приволжский научный вестник. – 2012. – № 11 (15). – С. 17–23.

9. Семёнов А.С., Саввинов П.В., Рушкин Е.И. Внедрение частотно-регулируемых электроприводов как метод энергосбережения на горных предприятиях // Достижения и перспективы естественных и технических наук: материалы II Международной научно-практической конференции. – Ставрополь: Логос, 2012. – С. 60–63.

10. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MatLab, Sim Power Systems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.: ил.

11. Semenov A.S., Shipulin V.S. Analysis of energy efficiency of the system drive centrifugal pump GrAT-4000 by modeling in MatLab // European Applied Sciences, January. – 2013. – № 1 (2). – P. 228–230.

References

1. Aliev I.I. Spravochnik po elektrotehnike i elektrooborudovaniju: Ucheb. posobiedljavuzov. 2-e izd., dop. M.: Vyssh. shk., 2000. 255 p.

2. Rushkin E.I., Semenov A.S. Analiz energojeffektivnosti sistemy elektroprivoda centrobezhnogo nasosa pri pomoshhi modelirovanija v programme MATLAB // Sovremennye naukoemkie tehnologii. 2013. no. 8. pp. 341–342.

3. Rushkin E.I., Semenov A.S. Issledovanie sistemy chastotno-reguliruemogo elektroprivoda ventiljatora glavnogo provetrivanija pri pomoshhi modelirovanija // Tehnicheskienauki otteorii k praktike. Materialy XX mezhdunarodnoj zaochnojnauchno-prakticheskoj konferencii. (17 aprelja 2013 g.); Novosibirsk: Izd. «SibAK», 2013. pp. 34–42.

4. Semenov A.S. Modelirovanie avtomatizirovannogo elektroprivoda: Metodicheskie ukazanija po vypolneniju laboratornyh rabot dlja studentov special'nosti 140601 «Elektromehanika». M.: Izdatel'stvo «Sputnik+», 2012. 60 p.

5. Semenov A.S. Modelirovanie rezhima puska sinhronnogo dvigatelja elektroprivoda nasosa GrAT-4000 // Nauka v central'nojRossii. 2012. no. 2. pp. 23–27.

6. Semenov A.S. Primenenie sistemy elektroprivoda s preobrazovatelem chastoty i avtonomnym invertorom naprjazhenija na prohodcheskom kombajne // Tehnicheskienauki otteorii k praktike. Materialy XVIII mezhdunarodnoj zaochnojnauchno-prakticheskoj konferencii. (20 fevralja 2013 g.); Novosibirsk: Izd. «SibAK», 2013. pp. 71–78.

7. Semenov A.S. Programma MATLAB: Metodicheskie ukazanija k laboratornym rabotam dlja studentov special'nosti 140211 «Elektrosnabzhenie». M.: Izdatel'stvo «Sputnik + », 2012. 40 p.

8. Semenov A.S., Pak A.L., Shipulin V.S. Modelirovanie rezhima puska elektrodvigatelja po gruzochno-dostavochnyh mashin pri menitel'no k rudnikam po dobyche almazosoderzhash hihporod // Privolzhskij nauchnyj vestnik. 2012. no. 11 (15). pp. 17–23.

9. Semenov A.S., Savvinov P.V., Rushkin E.I. Vnedrenie chastotno-reguliruemyh elektroprivodov kak metod energosberezhenija na gornyhpred prijatijah // Dostizhenija i perspektivyestestvennyh i tehnicheskihnauk. Materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Stavropol': Logos, 2012. pp. 60–63.

10. Chernyh I.V. Modelirovanie elektrotehnicheskih ustrojstv v MatLab, Sim Power Systems i Simulink. M.: DMK Press; SPb.:Piter, 2008. 288 p.: il.

11. Semenov A.S., Shipulin V.S. Analysis of energy efficiency of the system drive centrifugal pump GrAT-4000 by modeling in MatLab. European Applied Sciences, January, 2013, no. 1 (2). pp. 228–230.

Рецензенты:

Зырянов И.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой горного и нефтегазового дела Политехнического института, (филиала) ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», зам. директора по науке НИИ «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ОАО), г. Мирный;

Викулов М.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой горных машин Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, профессор кафедры электрификации и автоматизации горного производства Политехнического института (филиала) ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», г. Мирный.

Работа поступила в редакцию 15.07.2013.