

6. Semenov A.S., Shipulin V.S. // Europäische Fachhochschule. – 2013. – № 1. – С. 228-230.
7. Семёнов А.С. Моделирование автоматизированного электропривода: Методические указания по выполнению лабораторных работ. – М., 2012. – 60 с.
8. Семёнов А.С. Программа MATLAB: Методические указания к лабораторным работам. – М., 2012. – 40 с.
9. Семёнов А.С. // Мир современной науки. – 2013. – № 1 (16). – С. 12-15.
10. Рушкин Е.И., Семёнов А.С. // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8-2. – С. 341-342.
11. Саввинов П.В., Семёнов А.С. // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8-2. – С. 342-344.
12. Шипулин В.С., Семёнов А.С. // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8-2. – С. 344-347.
13. Семёнов А.С. // Естественные и технические науки. – 2013. – № 4 (66). – С. 296-298.
14. Семёнов А.С. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 9-2. С. 29-34.
15. Семёнов А.С. // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. – 2014. – Т. 11, № 1. – С. 51-59.
16. Саввинов П.В., Семёнов А.С. // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-1. – С. 232.
17. Семёнов А.С. // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-1. – С. 232-236.
18. Семёнов А.С., Кугушева Н.Н., Хубиева В.М., Матул Г.А. // Естественные и технические науки. – 2014. – № 3 (71). – С. 165-171.
19. Егорова А.А., Семёнов А.С., Петрова М.Н. // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-2. – С. 840.
20. Семёнов А.С., Хубиева В.М., Петрова М.Н. // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 10-3. – С. 523-528.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Семёнов А.С.

*Политехнический институт, филиал  
ФГАОУ ВПО «Северо-восточный федеральный  
университет им. М.К. Аммосова», Мирный,  
e-mail: sash-alex@yandex.ru*

ГрАТ-4000 – это центробежный грунтовый насос, конструктивно выполненный в виде консольного од-

ноступенчатого насоса, горизонтально расположенного на отдельной стойке, с приводом от электродвигателя через упругую муфту. Рабочее колесо у таких насосов закрытого типа. Они предназначены для перекачивания гравийных, песочно-гравийных, шлаковых, золошлаковых и других абразивных гидросмесей с водородным показателем рН 6,8 плотностью до 1300 кг/м<sup>3</sup>, с температурой до 70°С. У насосов типа ГрАТ внутренний корпус выполнен из износостойкого сплава. Конструкция насоса дает возможность относительно легко и быстро заменять подвергающийся износу внутренний корпус, состоящий из улитки и защитного диска.

В качестве электродвигателя насоса ГрАТ-4000 выступает синхронная машина. Синхронные машины имеют широкое распространение и выпускаются в большом диапазоне мощностей и частот вращения. В энергетике их применяют в качестве турбогенераторов и гидрогенераторов на электростанциях. В промышленных установках большое применение находят синхронные двигатели и генераторы. Синхронные двигатели предназначены для приводов, не требующих регулирования частоты вращения, таких как насосы, компрессоры, шаровые мельницы, вентиляторы, двигатель-генераторные установки. Мощность установленного синхронного двигателя насоса составляет 1600 кВт. Остальные параметры двигателя приведены в виде таблицы.

Целью моделирования является построение характеристики зависимости напряжения, тока и мощности, потребляемой объектами, от суточного времени работы оборудования. Исходными данными являются технические характеристики установленного на объекте оборудования.

Таблица 1

Технические параметры насоса ГрАТ-4000

Марка насоса	Тип насоса	Подача, м <sup>3</sup> /ч	Напор, м.в.ст.	Габариты, мм ШхВхГ	Масса, кг
ГрАТ-4000	Центробежный	4000	71	3402x2670x2370	15210

Таблица 2

Технические параметры синхронного двигателя насоса ГрАТ-4000

Марка двигателя	Номинальная мощность, кВт	Напряжение, кВ	Скорость вращения, об/мин	КПД, %	Масса, кг
СДНЗ-2	1600	6000	500	96,9	7580

Таблица 3

Характеристики электрооборудования насосной станции

№	Оборудование	Кол., шт	P, кВт	$\sum P, \text{ кВт}$	U <sub>н</sub> , кВ	КПД	Cos	K <sub>исп</sub>	K <sub>спр</sub>	Мощности		S <sub>p</sub> , кВА	I <sub>p</sub> , А
										P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , кВар		
1	ГРАТ-4000	2	1600	3200	6	0,955	0,9	0,9	0,85	2880	1296	3158	304
2	Освещение	6 20	0,4 0,03	2,4 0,6	0,22	0,95 0,85	-	0,95 0,9	0,95 0,9	2,8	1,3	3,1	8,1
3	Насос Д200	4	75	300	0,4	0,91	0,89	0,7	0,55	223	118	252	364
4	Задвижки	2	11	22	0,4	0,875	0,87	0,6	0,65				
	ИТОГО:			3525						3106	1415	3413	676
	Из них на 6 кВ			3200						2880	1296	3158	304
	Из них на 0,4 кВ			325						226	119	255	372

Для моделирования необходимо рассчитать недостающие параметры для трансформатора, сопротивления линий и др. Найдём значения активного сопротивления и индуктивности обмоток трансформатора:

1) Мощность первичной и вторичной обмоток трансформатора:

$$P_1 = P_2 = \frac{P_H}{3} = \frac{250}{3} = 83,3 \text{ кВт};$$

2) Напряжение первичной и вторичной обмоток трансформатора:

$$U_1 = \frac{U_H}{\sqrt{3}} = \frac{6}{\sqrt{3}} = 3,5 \text{ кВ},$$

$$U_2 = \frac{U_H}{\sqrt{3}} = \frac{0,4}{\sqrt{3}} = 0,23 \text{ кВ};$$

3) Ток первичной и вторичной обмоток трансформатора:

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{83,3}{3,5} = 23,8 \text{ А},$$

$$I_2 = \frac{P_2}{U_2} = \frac{83,3}{0,23} = 362 \text{ А};$$

4) Активное сопротивление первичной и вторичной обмоток трансформатора:

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{3500}{23,8} = 147 \text{ Ом},$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{230}{362} = 0,64 \text{ Ом};$$

5) Индуктивность первичной и вторичной обмоток трансформатора:

$$L_1 = \frac{R_1}{2\pi f} = \frac{147}{314} = 0,47 \text{ Гн},$$

$$L_2 = \frac{R_2}{2\pi f} = \frac{0,64}{314} = 0,002 \text{ Гн}.$$

Чтобы найденные данные подставить в модель, нужно привести их к следующему виду:

$$R_1 \cdot 0,01 = 1,47, R_2 \cdot 0,01 = 0,0064,$$

$$L_1 \cdot 0,02 = 0,0094, L_2 \cdot 0,02 = 0,00004,$$

$$R_M = R_1 \cdot 100 = 14700, L_M = L_1 \cdot 100 = 47.$$

После проведенных расчетов подставляем все значения в модель трансформатора.

Готовая модель системы электроснабжения насосной станции приведена на рис. 2.

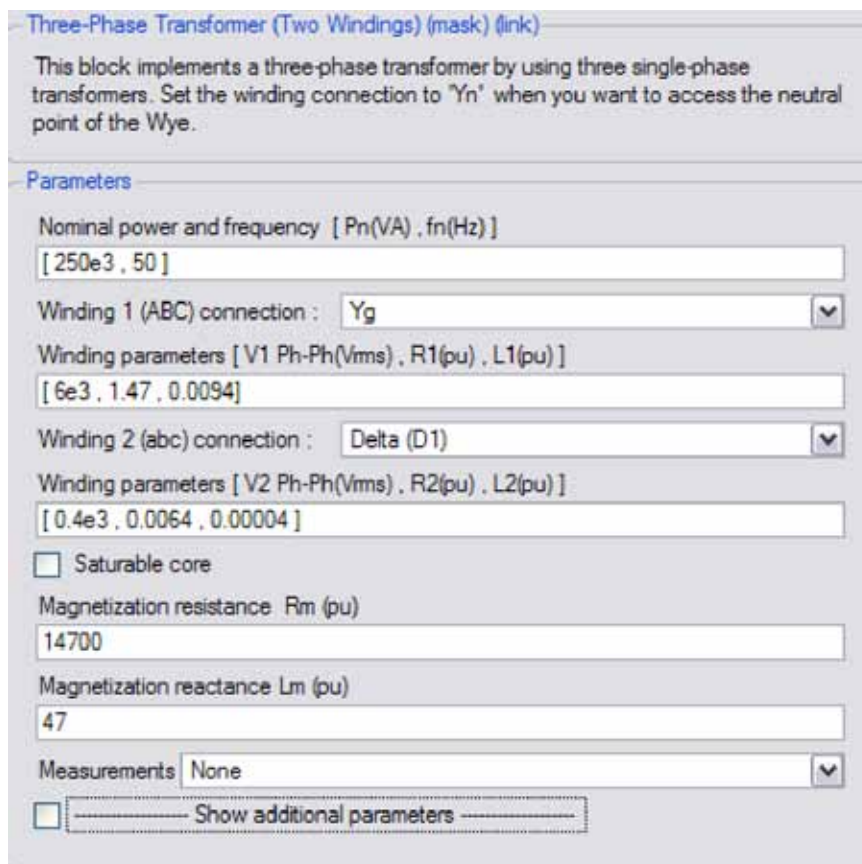


Рис. 1. Окно параметров блока трансформатора модели

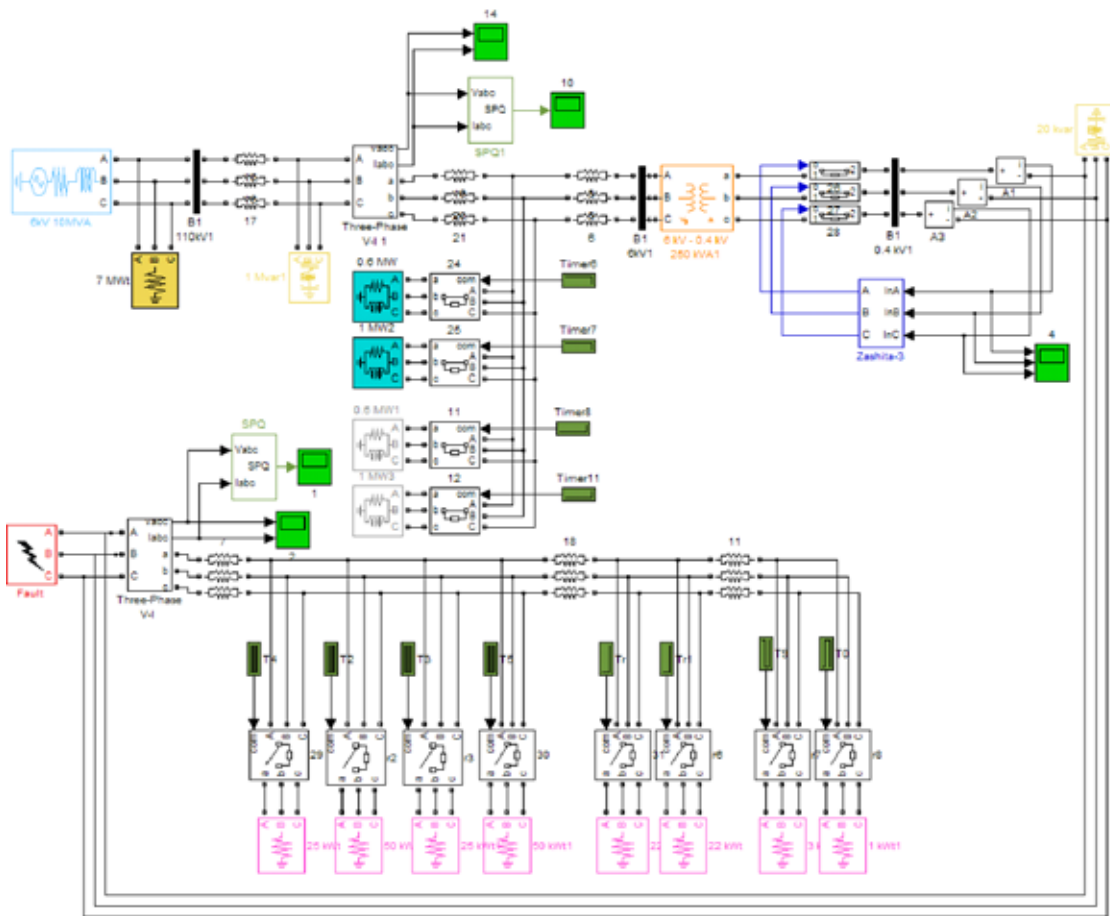


Рис. 2. Модель системы электроснабжения насосной станции

Результаты моделирования представляем в виде графиков зависимостей искомого параметра от времени моделирования. В процессе моделирования были проанализированы значения напряжения, тока и мощностей (полной, активной, реактивной) как основного, так и вспомогательного оборудования. Так же было смоделировано трехфазное короткое замыкание для оценки работоспособности защитного отключения.

На рис. 3 и 4 показаны графики зависимостей напряжения и тока от времени моделирования. На них видны моменты включения и выключения электрооборудования: максимальный ток при включении всего вспомогательного оборудования достигает значения около 70 А, при работе основного оборудования составляет примерно 130 А. После 2 с моделирования наступает короткое замыкание, в результате чего срабатывает защита и отключает питание вспомогательного оборудования, не затрагивая при этом линию 6 кВ основного оборудования. На графике тока основного оборудования во время режима короткого замыкания наблюдается небольшое увеличение значения тока до 140 А.

На рис. 5 и 6 показаны графики зависимости мощностей от времени моделирования (так называемый суточный график нагрузки). На рис. 5 при работе всего

вспомогательного оборудования максимальная мощность не превышает 200 кВА и опускается практически до 3 кВА в случае работы только освещения. Основное оборудование (насос) потребляет из сети немного больше 1 МВА. На интервале времени 1,5 с показано резкое отключение питания насоса и переход на резервное оборудование. Процесс повторного включения занимает менее 0,1 с, что удовлетворяет условиям быстрой реакции системы защиты.

В заключение можно сделать выводы о том, что построенная модель системы электроснабжения насосной станции является полностью работоспособной и соответствует требованиям процессов математического моделирования электротехнических систем. Полученные результаты отражают следующие режимы работы системы: нормальный (номинальный) режим работы, режим короткого замыкания, режим отключения и повторного включения электрооборудования. Результаты моделирования могут быть применимы на практике при изучении режимов работы насосной станции в условиях реальных производственных процессов. Модель может быть адаптирована для подобных систем электроснабжения горного производства, имеющих основное оборудование с питающим напряжением 6 кВ и вспомогательное оборудование на 0,4 кВ.

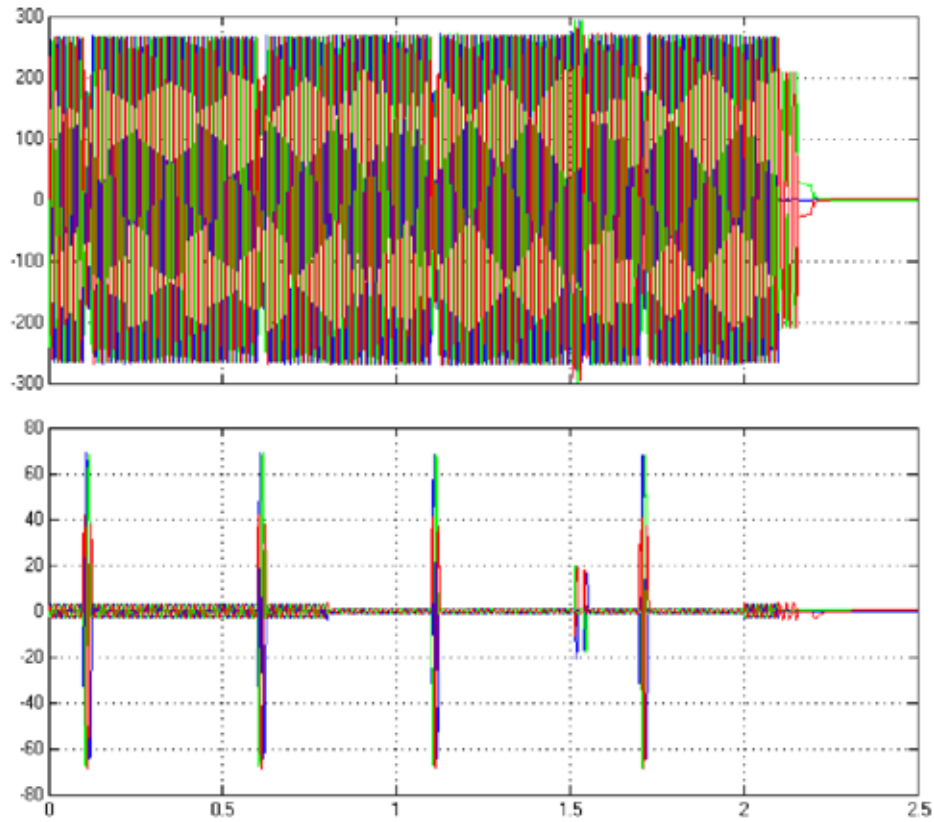


Рис. 3. Характеристики напряжения и тока вспомогательного оборудования

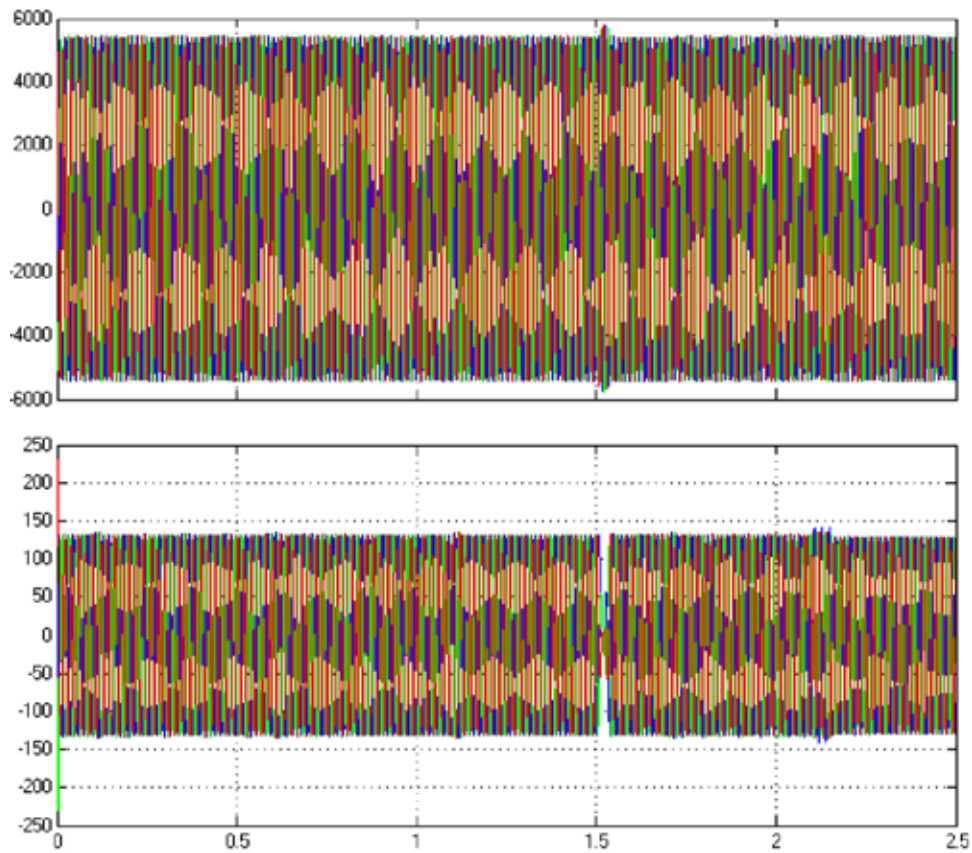


Рис. 4. Характеристики напряжения и тока основного оборудования

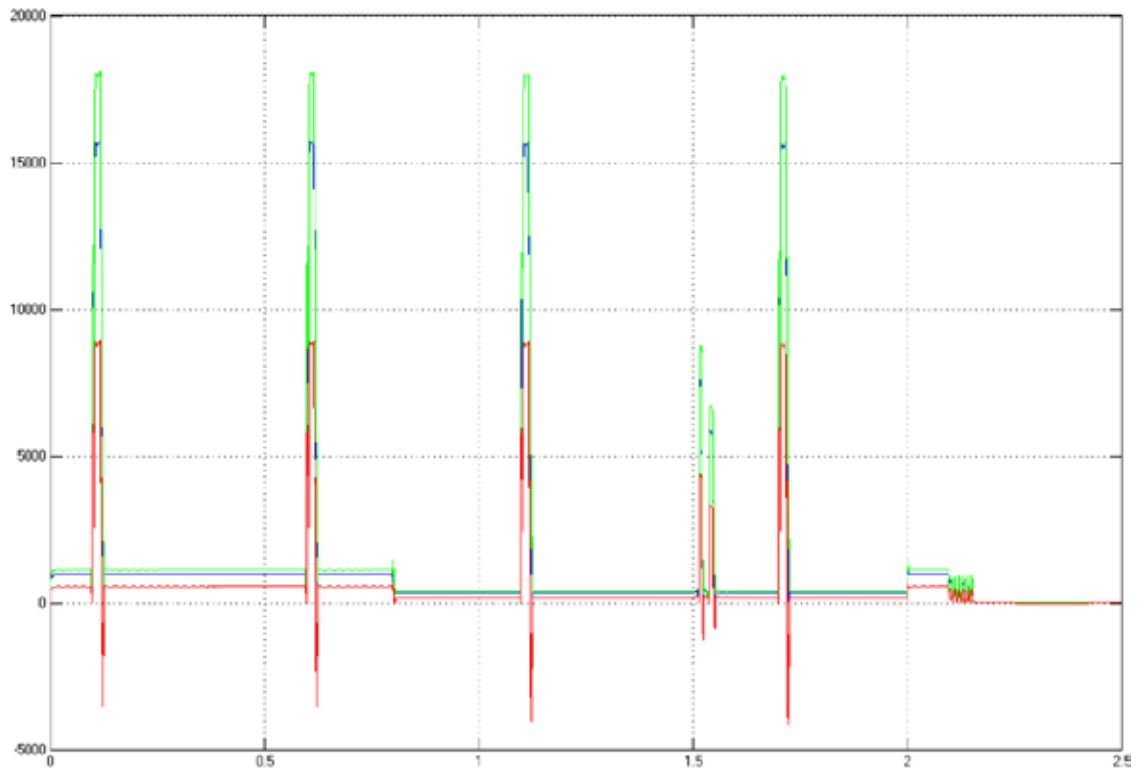


Рис. 5. Суточный график нагрузки вспомогательного оборудования

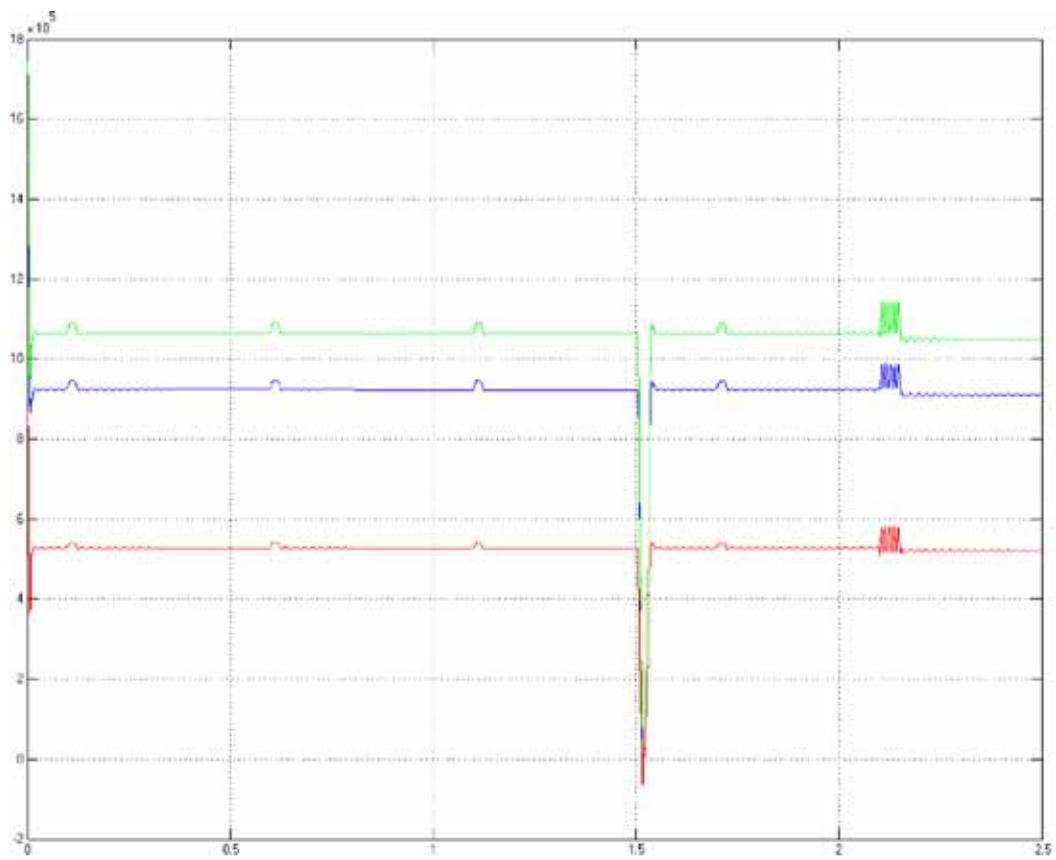


Рис. 6. Суточный график нагрузки основного оборудования

**Список литературы**

1. Семёнов А.С. // Наука в центральной России. – 2012. – № 2S. – С. 23-27.
2. Семёнов А.С. // Научная дискуссия: вопросы технических наук материалы II Международной заочной научно-практической конференции. Международный центр науки и образования. – 2012. – С. 52-56.
3. Семёнов А.С., Саввинов П.В., Рушкин Е.И. // Достижения и перспективы естественных и технических наук Сборник материалов II Международной научно-практической конференции. Центр научного знания Логос. – 2012. – С. 60-63.
4. Семёнов А.С., Шипулин В.С. // Наука XXI века: новый подход материалы II молодежной международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 28 сентября 2012 года, г. Санкт-Петербург. – Петрозаводск: Науч.-изд. центр «Открытие», 2012. – С. 63-65.
5. Семёнов А.С., Шипулин В.С., Рушкин Е.И. // Современные исследования в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности: сб. научных статей по материалам I Международной научно-практической конференции / Минобрнауки России, Юго-западный государственный университет (ЮЗГУ); редкол.: А.В. Филинович, 2012. – С. 102-107.
6. Семёнов А.С. // Современная наука: тенденции развития материалы II Международной научно-практической конференции, (30 июля 2012 г.): сборник научных статей: в 3 т. / Ред.: П.В. Бисалиев. – Краснодар, 2012. – С. 112-116.
7. Semenov A.S., Shipulin V.S. // Europäische Fachhochschule. – 2013. – № 1. – С. 228-230.
8. Семёнов А.С. Моделирование автоматизированного электропривода: Методические указания по выполнению лабораторных работ. – М., 2012. – 60 с.
9. Семёнов А.С. Программа MATLAB: Методические указания к лабораторным работам. – М., 2012. – 40 с.
10. Семёнов А.С. Основы теории надежности электротехнических систем. Лабораторный практикум. – М., 2012. – 49 с.
11. Семёнов А.С. // Мир современной науки. – 2013. – № 1 (16). – С. 12-15.
12. Рушкин Е.И., Семёнов А.С. // Современные наукоёмкие технологии. – 2013. – № 8-2. – С. 341-342.
13. Саввинов П.В., Семёнов А.С. // Современные наукоёмкие технологии. – 2013. – № 8-2. – С. 342-344.
14. Шипулин В.С., Семёнов А.С. // Современные наукоёмкие технологии. – 2013. – № 8-2. – С. 344-347.
15. Семёнов А.С. // Естественные и технические науки. – 2013. – № 4 (66). – С. 296-298.
16. Семёнов А.С., Кугушева Н.Н., Хубиева В.М. Моделирование режимов работы электроприводов горного оборудования: монография. Подробный анализ систем электроприводов, их моделирование, сопоставление параметров и выводы о возможном применении / Saarbrücken, 2013. – 112 с.
17. Семёнов А.С. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 9-2. – С. 29-34.
18. Семёнов А.С. // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. – 2014. – Т. 11. № 1. – С. 51-59.
19. Саввинов П.В., Семёнов А.С. // Современные наукоёмкие технологии. – 2014. – № 5-1. – С. 232.
20. Семёнов А.С. // Современные наукоёмкие технологии. – 2014. – № 5-1. – С. 232-236.
21. Семёнов А.С., Кугушева Н.Н., Хубиева В.М., Матул Г.А. // Естественные и технические науки. – 2014. – № 3 (71). – С. 165-171.
22. Егорова А.А., Семёнов А.С., Петрова М.Н. // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-2. – С. 840.
23. Семёнов А.С., Хубиева В.М., Петрова М.Н. // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 10-3. – С. 523-528.
24. Волотковская Н.С., Семёнов А.С., Мартынова А.Б. Методические указания по выполнению расчетно-графических работ по дисциплине «Электроснабжение горного производства». – Мирный: МПТИ (ф) СВФУ, 2015. – 20 с.
25. Волотковская Н.С., Семёнов А.С., Черенков Н.С. Методические указания по выполнению курсового проекта по дисциплине «Электроснабжение горного производства». – Мирный, 2015. – 44 с.
26. Семёнов А.С., Бебихов Ю.В., Самсонов А.В. Проектирование и расчет внешней электроэнергетической системы. Методические указания к курсовому проекту. Приводится пример расчета замкнутой энергосистемы внешней электрической сети, проектируются узлы нагрузки и ТЭЦ / Saarbrücken, Deutschland, 2015. – 56 с.
27. Семёнов А.С. Основы теории надежности электротехнических систем. Учебное пособие для горных инженеров специальности 130400 «Горное дело» специализации «Электрификация и автоматизация горного производства» / Политехнический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова. – М., 2015. – 106 с.
28. Семёнов А.С., Хубиева В.М., Кугушева Н.Н. Моделирование режимов работы систем электроснабжения горных предприятий: монография. Политехнический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова. – М., 2015. – 100 с.
29. Кугушева Н.Н., Семёнов А.С. Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Системы электроснабжения». Методические указания по выполнению курсового проекта

по дисциплине «Системы электроснабжения» разработаны для студентов специальности 140211 «Электроснабжение» очной и заочной форм обучения. – М., 2015. – 24 с.

**ВНЕДРЕНИЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА НА НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ**

Черевков Г.И., Егоров А.Н.

*Политехнический институт, ФГАОУ ВПО «Северо-восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Мирный, e-mail: kafeiagp@rambler.ru*

Применение частотно-регулируемых приводов (ЧРП) на основе асинхронных короткозамкнутых электродвигателей и полупроводниковых преобразователей частоты – это одно из направлений в области энергосберегающих технологий последних лет. На данном этапе развития технологий становится все более актуальным применение ЧРП, так как это снижает потребление электрической энергии, повышает степень автоматизации, увеличивается удобство эксплуатации оборудования и качество технологических процессов. Они используются в качестве приводов вспомогательных устройств, обслуживающих основное технологическое оборудование и производственные процессы, в основном это вентиляторы и насосы. Частотно-регулируемый привод – система управления частотой вращения ротора асинхронного (синхронного) электродвигателя. Состоит из электродвигателя и частотного преобразователя.

Преобразователь частоты (ПЧ) – устройство, состоящее из инвертора (преобразователя, иногда с ШИМ), преобразующего постоянный ток в переменный требуемой частоты и амплитуды и выпрямителя (моста постоянного тока), преобразующего переменный ток промышленной частоты в постоянный. Преобразователи частоты применяются в: судовом электроприводе большой мощности, прокатных станках (синхронная работа клетей), высокооборотном приводе вакуумных турбомолекулярных насосов (до 100.000 об/мин.), конвейерных системах, резательных автоматах, автоматически открывающихся дверях, городском электротранспорте, особенно в троллейбусах. Наибольший экономический эффект даёт применение ЧРП в системах вентиляции, кондиционирования и водоснабжения [8].

Преобразователи частоты рекомендуют использовать совместно с опциональными устройствами (дополнительными). Опциональные устройства, в зависимости от их назначения, устанавливаются как в силовые цепи преобразователя, так и в цепи управления. К устройствам, устанавливаемым в силовую цепь, относятся: реакторы переменного и постоянного тока, входные и выходные фильтры, тормозные резисторы. ПЧ имеет ряд встроенных защитных функций для работы с насосами – обнаружение утечек, защита от сухого хода и др. Их использование позволяет добиться увеличения надежности работы всей системы. Снижение риска порыва трубопроводной сети достигается за счёт автоматического поддержания давления в заданных пределах [6].

Внедрение ЧРП на насосные станции позволит существенно снизить потребляемую электроприводом электроэнергию. Также технико-экономические показатели ЧРП, такие как: плавный пуск насосов (отсутствие гидравлических ударов в трубопроводе, снижение напора), высокая надежность работы насосных агрегатов, автоматизация и диспетчерское управление, полная электрическая защита электродвигателя, и т.д., что в отдельных случаях имеет особое значение по отношению к прямой экономии. Частотно-регулируемый электропривод позволяет оптимизировать характеристики трубопроводной сети (давление,