

УДК 621.31

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГЛАВНОЙ ВЕНТИЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ РУДНИКА ПРИ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Семенова М.Н., Заголило С.А.

Политехнический институт, филиал Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, Мирный, e-mail: sun1u198662@gmail.com

В статье рассмотрено моделирование системы электроснабжения вентиляторной станции главного проветривания рудника при компенсации реактивной мощности с помощью синхронного двигателя вентилятора. Описаны требования к системам электроснабжения промышленных предприятий, указаны особенности электроснабжения главных вентиляторных установок рудника. Построена принципиальная схема внутреннего электроснабжения вентиляторной станции главного проветривания. Описана методика исследования, заключающаяся в математическом моделировании технических систем при помощи пакета программ MatLab. Представлено описание блоков библиотеки Simulink/SimPowerSystems, из которых собирается математическая модель системы электроснабжения вентиляторной станции. Приведены результаты моделирования при нормальном режиме работы системы электроснабжения и с компенсацией реактивной мощности. По графикам результатов моделирования видим, что реактивная мощность снизилась на расчетное значение, что соответствует целям и задачам работы.

Ключевые слова: рудник, главная вентиляторная установка, система электроснабжения, компенсация реактивной мощности, математическое моделирование, MatLab, активная мощность, реактивная мощность, напряжение

MODELING OF THE ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM OF THE MAIN FAN MOTOR VENTILATION UNITS AT THE COMPENSATION OF REACTIVE POWER

Semenova M.N., Zagolilo S.A.

Polytechnic institute, branch of North-Eastern Federal University n.a. M.K. Ammosov, Mirny, e-mail: sun1u198662@gmail.com

The article considers the simulation of the power supply system for the fan station of the main ventilation of the mine, when reactive power is compensated with a synchronous fan motor. The requirements to the power supply systems of industrial enterprises are described, the features of power supply of the main fan installations of the mine are indicated. A schematic diagram of the internal power supply of the fan station of the main ventilation is constructed. The technique of research is described, which consists in mathematical modeling of technical systems using the MatLab software package. The description of the blocks of the Simulink/SimPowerSystems library is presented, from which a mathematical model of the power supply system of the fan station is assembled. The results of modeling under normal operation of the power supply system and with reactive power compensation are presented. From the simulation results graphs, we see that the reactive power has decreased by the calculated value, which corresponds to the goals and tasks of the work.

Keywords: mine, main fan installation, power supply system, reactive power compensation, mathematical modeling, MatLab, active power, reactive power, voltage

Требования, предъявляемые к электроснабжению предприятий, зависят от их величины и потребляемой ими мощности. Схемы электроснабжения строятся таким образом, чтобы вся система была экономична, надежна, удобна и безопасна в обслуживании и обеспечивала необходимое качество электроэнергии в нормальных и послеаварийных режимах. Надежность систем электроснабжения предприятий, как правило, должна повышаться при приближении к источникам питания и по мере увеличения мощности соответствующих звеньев системы, так как аварии в мощных звеньях приводят к более тяжелым последствиям, чем в мелких, и охватывают большую зону предприятия.

Наиболее экономичной и надежной является система электроснабжения с при-

менением глубоких вводов, при которой источники напряжения максимально приближены к потребителям электроэнергии, а прием электроэнергии рассредоточивается по нескольким пунктам.

Система электроснабжения строится таким образом, чтобы все ее элементы постоянно находились под нагрузкой. «Холодный» резерв в линиях и трансформаторах не применяется. При таком режиме работы уменьшаются потери электроэнергии, и повышается надежность, так как долго находившийся в бездействии «холодный» резервный элемент может при его включении отказать в работе вследствие каких-либо неисправностей, оказавшихся незамеченными. Так называемый «скрытый» резерв предусматривается в самой схеме электроснабжения, которая при послеаварийном

режиме должна быть в состоянии принять на себя нагрузку временно выбывшего элемента путем перераспределения ее между оставшимися в работе частями сети с использованием перегрузочной способности электрооборудования.

троснабжение ВГП в программе MatLab/Simulink/SimPowerSystem [21].

Исходными данными будут являться параметры элементов системы электроснабжения, расширенные данные синхронного двигателя ГВУ СДМЗ–17–59–12УХЛ4 и си-

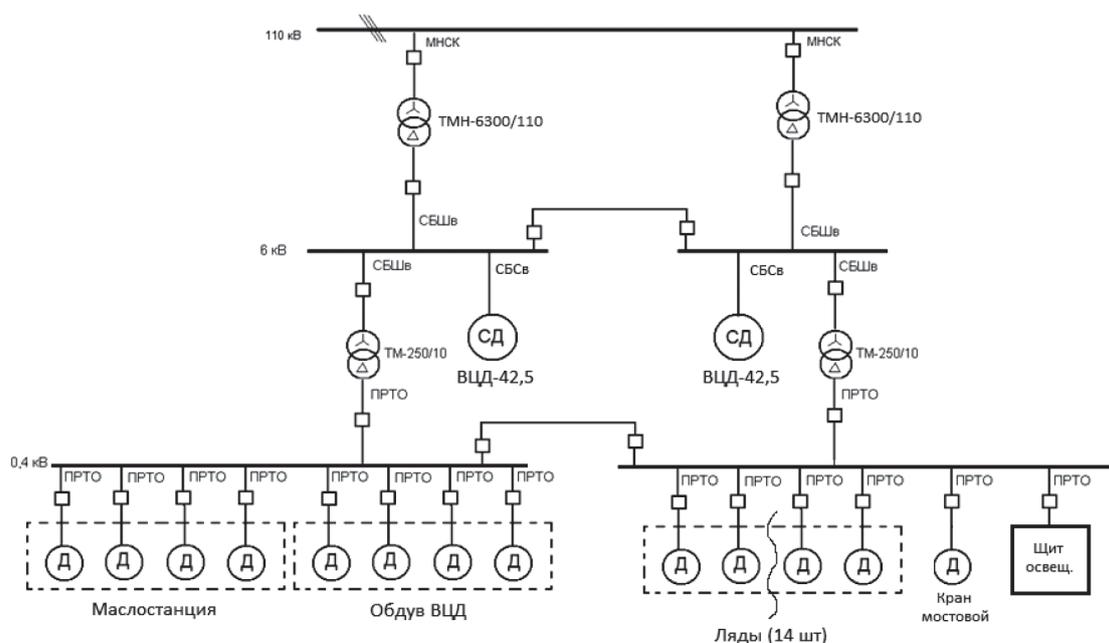


Рис. 1. Принципиальная схема внутреннего электроснабжения участка ВГП

Объект исследования и исходные данные моделирования. Вентиляторная станция главного (ВГП) проветривания рудника по бесперебойности электропитания относится к потребителям 1-й категории, перерыв в электроснабжении которых допускается на время срабатывания АВР (автоматического включения резерва). Перечень электрооборудования, расположенного на станции, включает в себя: 2 вентилятора ВЦД-42,5; 4 вентилятора охлаждения (обдува) ГВУ; 4 маслостанции; 14 электроприводов ляд (дверей); мостовой кран; освещение. По перечисленному оборудованию составляем схему внутреннего электроснабжения ВГП, принципиальный вид которой изображен на рис. 1.

По приведенной принципиальной схеме электроснабжения потребителей вентиляторной станции будем разрабатывать математическую модель, предполагающую структурное моделирование системы электроснабжения.

ловых высоковольтных трансформаторов ТМН-6300/110 и ТМ-250/10.

Методы исследования. Моделирование представляет собой сложный процесс, целью которого является создание представления о поведении системы при вариациях параметров. Замена реального объекта его математической моделью дает большие преимущества для исследования. Вычислительный эксперимент предназначен для изучения и оптимизации сложных многопараметрических процессов, исследование которых традиционными способами затруднено или невозможно. Такой подход гарантирует гибкость систем и дает возможности их постоянного улучшения без вкладывания значительных средств в обновления аппаратной части [1, 13, 18].

Система электроснабжения ВГП моделируется в пакете программ MatLab, отвечающим требованиям для разработки подобных систем [10, 23]. Приложение для моделиро-

вания энергетических и электротехнических систем – Simulink/SimPowerSystem. Компоненты моделей, в свою очередь, являются графическими блоками и моделями, которые содержатся в ряде библиотек и с помощью мыши могут переноситься в основное окно и соединяться друг с другом необходимыми связями. В состав моделей могут включаться источники сигналов различного вида, виртуальные регистрирующие приборы, графические средства анимации.

Описание блоков модели. Начнем описание элементов модели с источника питания трехфазного переменного напряжения. Мощность источника питания будет соответствовать мощности силового высоковольтного трансформатора 6300 кВА, а выходное напряжение составлять 6 кВ при частоте сети 50 Гц.

Трансформаторы используются для преобразования одного уровня напряжений в другой, в нашем случае он понижающий [5]. В нашей схеме от источника питания установлены два трансформатора ТМ-250/10: мощностью 250 кВА; напряжение высокой стороны трансформатора 6 кВ; низкая сторона 0,4 кВ, напряжения короткого замыкания 4,5%.

Трехфазная последовательная RLC-нагрузка с помощью данного блока моделируют трехфазную цепь, состоящую из трех последовательных RLC-нагрузок. Параметры цепи задаются через мощности фаз цепи при номинальном напряжении и частоте. С помощью блока нагрузки моделируют трехфазную цепь, состоящую из трех последовательных RLC-нагрузок. Схема соединения цепей – звезда с заземленной нейтралью. Параметры цепи задаются через мощности фаз цепи при номинальном напряжении и частоте.

Трехфазный измерительный блок используется для измерения мгновенного трехфазного напряжения и тока в цепи. Блок может выводить напряжение и токи в относительных единицах (о.е.) или в вольтах и амперах.

Блок «Трехфазный выключатель» реализует трехфазный автоматический выключатель, где открытие и закрытие может управляться либо от внешнего сигнала (внешний режим управления) или от внутреннего таймера управления (внутренний режим управления). Трехфазный выключатель использует три блока однофазных выключателей, соединенных между входами и выходами блока. Если трехфазный выключатель блока находится в режиме внешнего управления,

контроль входа появляется на значке блока. Сигнал управления подключен к этому вход должен быть 0 или 1, 0 чтобы открыть выключатели, 1 чтобы закрыть их. Если трехфазный выключатель установлен в режиме внутреннего контроля, время переключения задаются в диалоговом окне блока.

Для отображения результатов моделирования используется блок осциллографа. Для того чтобы открыть окно просмотра сигналов, необходимо выполнить двойной щелчок левой клавишей мыши на изображении блока. Это можно сделать на любом этапе расчета (как до начала расчета, так и после него, а также во время расчета). В том случае, если на вход блока поступает векторный сигнал, то кривая для каждого элемента вектора строится отдельным цветом. Подробное описание блоков и анализ работы моделей в Simulink представлено в [6, 12, 14–16].

Моделирование при номинальном режиме работы. При номинальном режиме работы система работает при заданных заводом изготовителем значениях. К номинальным данным относятся активная и реактивная мощность, ток, напряжение и ряд других данных.

Задаем полученные при расчете электроснабжения значения в блоке источника питания «Source». В блоке выключателя в значении переходной функции времени вставляем 0. В блоке RLC-нагрузки также поставим полученные в ходе расчета электроснабжения значения. Блок вентилятора с синхронным двигателем в дальнейшем будет использоваться в качестве компенсатора реактивной мощности в сети. После того как вся схема электроснабжения собрана в среде MatLab (рис. 2) и все данные поставлены во всех нагрузках, трансформаторах и выключателях запускаем программу, полученные данные доступны в окне осциллографа (в данном случае графики нагрузки) (рис. 3). Подробное описание снятых рабочих характеристик изложено в [2, 3, 7–9, 11, 19, 20, 22, 24].

Из графика видно, что в установившемся режиме активная мощность примерно составляет 1,32 МВт, а реактивная достигает значения – 1,2 МВАр. В свою очередь суммарная (полная) мощность достигает значения 1,76 МВА, что практически совпадает с расчетным значением:

$$P^2 + Q^2 = S^2,$$

откуда

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{1,32^2 + 1,2^2} = 1,78 \text{ МВА}.$$

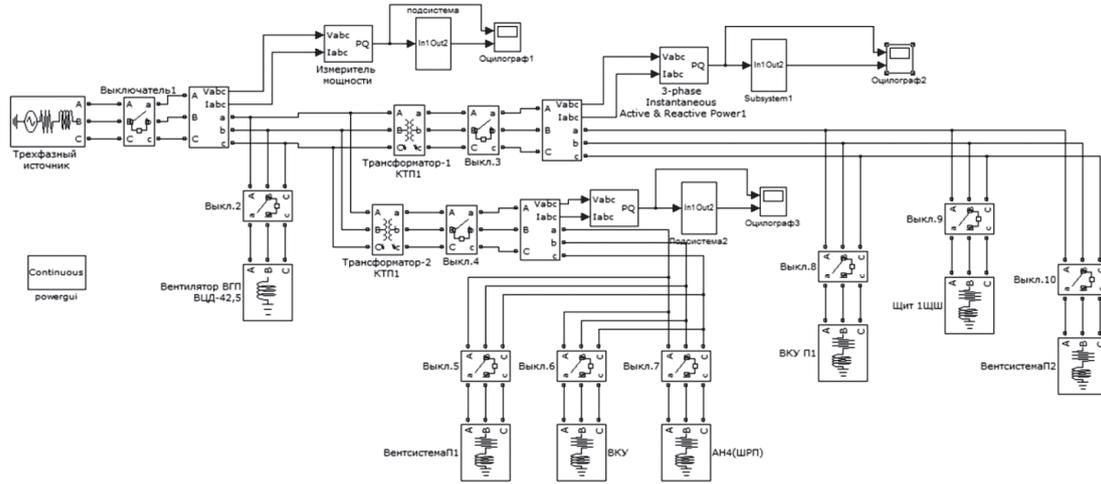


Рис. 2. Модель схемы электроснабжения участка вентиляторной станции рудника

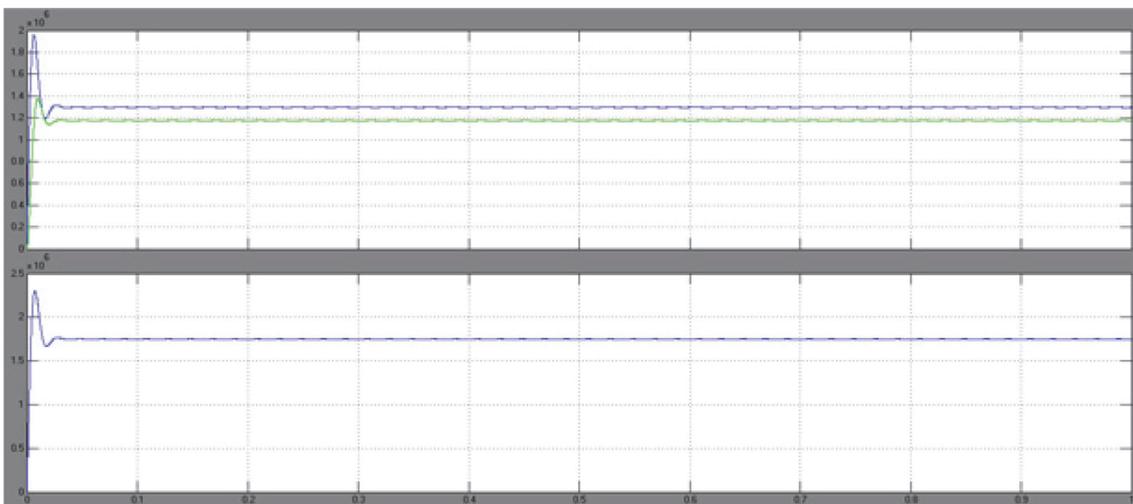


Рис. 3. График нагрузки при номинальном режиме работы системы электроснабжения (на шинах 6 кВ)

Режим компенсации реактивной мощности. Синхронные двигатели имеют по сравнению с асинхронными большое преимущество, заключающееся в том, что благодаря возбуждению постоянным током они могут работать с коэффициентом мощности равном единице и не потребляют при этом реактивной мощности из сети, а при работе на холостом ходу даже отдают реактивную мощность в сеть. В результате улучшается коэффициент мощности генераторов, работающих на электростанциях.

Для имитации режима компенсации реактивной мощности при запуске модели убираем активную нагрузку в вентиляторе (рис. 4), так как двигатель будет работать в холостом ходу. После режима компенсации в осциллографе 1 наблюдается изменение графика нагрузки по сравнению в номинальном режиме (рис. 5).

необходимый уровень показателей качества электросети, к которой он подключён. Воздействие на энергетические показатели осуществляется с помощью регулирования тока возбуждения двигателя в ручном или автоматическом режиме.

При некотором токе возбуждения реактивная составляющая тока станет равной нулю, т.е. ток статора станет чисто активным. Это состояние характеризуется минимальным значением тока статора и максимальным значением $\cos \varphi = 1$. Если продолжить увеличивать ток, возбуждения вновь появится, и начнёт расти реактивная составляющая тока, но она будет опережать напряжение сети на 90° . За счёт этого ток статора, будет также опережать напряжение сети, и синхронный двигатель начнет работать с опережающим $\cos \varphi$, уже отдавая реактивную мощность в питающую сеть.

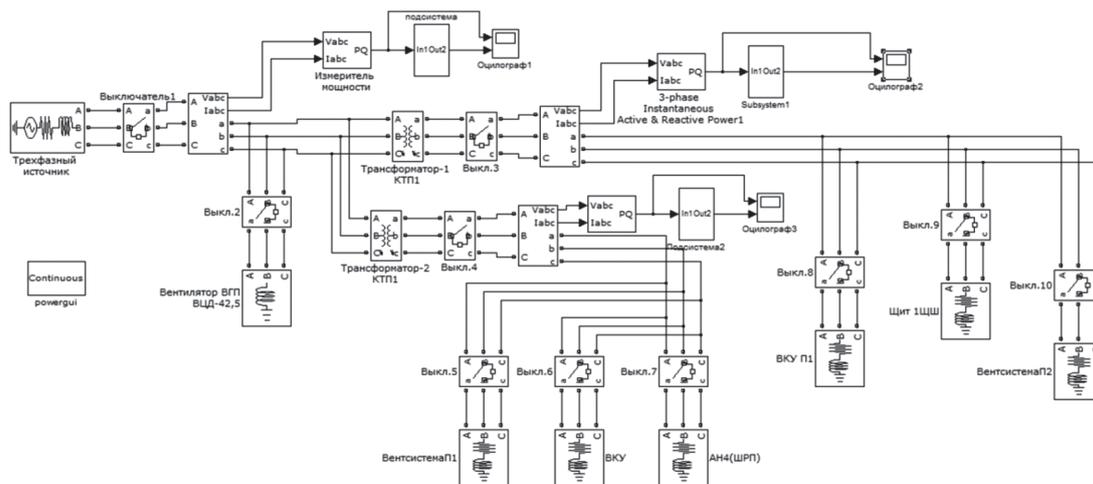


Рис. 4. Модель с компенсацией реактивной мощности

Это происходит за счет того, что синхронные двигатели, в процессе своей работы способны генерировать реактивную мощность. По этой причине электропривод с синхронным двигателем может работать с заданным коэффициентом мощности $\cos \varphi$, максимальным КПД и обеспечивать не-

Обобщая выше сказанное получим, что при работе синхронного двигателя с переменной нагрузкой на валу для наилучшего использования его компенсирующих свойств требуется соответствующее изменение тока возбуждения. Моделирование электропривода ГВУ рассмотрено в [4, 17].

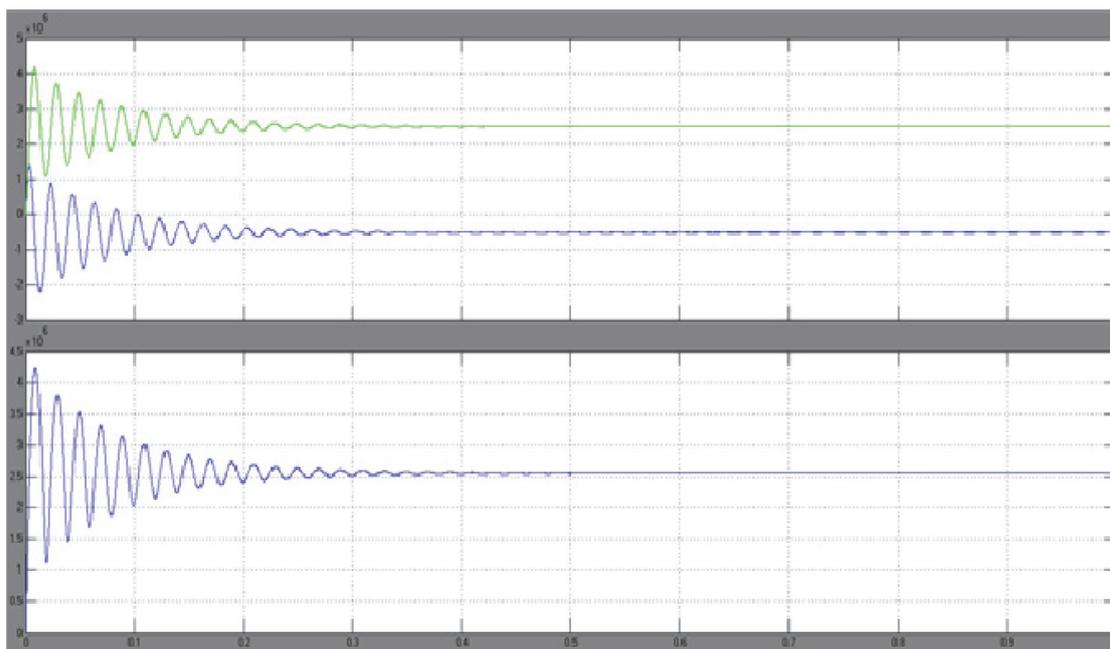


Рис. 5. График нагрузки при компенсации реактивной мощности (на шинах 6 кВ)

Из графика видно, что в установившемся режиме реактивная мощность была скомпенсирована до рассчитанного значения $-0,55$ МВАр, в свою очередь активная мощность увеличилась и примерно составляет $2,6$ МВт. В результате суммарное снижение реактивной мощности составило:

$$\Delta Q = Q_H - Q_K = 1,2 - (-0,55) = 1.75 \text{ МВАр}$$

Вывод. При моделировании режимов системы электроснабжения вентиляторной станции рудника была построена модель компенсации реактивной мощности при помощи синхронного электродвигателя. В результате представлены графики зависимости мощностей (полной, активной, реактивной) от времени. Из графиков видно, что при использовании синхронного двигателя в режиме компенсатора реактивной мощности последняя уменьшилась. Погрешности смоделированных параметров не превышают 5% по сравнению с расчетными данными. Можно считать моделирование проведенным успешно, а модель – рабочей.

Список литературы

1. Егорова А.А., Семёнов А.С., Петрова М.Н. Применение программ математического моделирования при изучении дисциплин естественнонаучного и профессионального циклов у технических специальностей // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2–2. – С. 840.
2. Петрова М.Н., Семёнов А.С. Математическое моделирование переходных процессов в электромеханических системах // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3–2. – С. 312–314.

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

4. Рушкин Е.И., Семёнов А.С. Исследование системы частотно-регулируемого электропривода вентилятора главного проветривания при помощи моделирования // Технические науки – от теории к практике. – 2013. – № 20. – С. 34–41.

5. Семёнов А.С. Исследование режимов работы однофазного трансформатора путем математического моделирования // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 5–3. – С. 391–395.

6. Семёнов А.С. Моделирование автоматизированного электропривода: методические указания по выполнению лабораторных работ. / Москва, 2012. – 60 с.

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

8. Семёнов А.С. Моделирование режимов работы асинхронного двигателя в пакете программ MATLAB // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. – 2014. – Т. 11. – № 1. – С. 51–59.

9. Семёнов А.С. Моделирование режимов работы асинхронного двигателя при прямом пуске и с преобразователем частоты в пакете программ MATLAB // Естественные и технические науки. – 2013. – № 4 (66). – С. 296–298.

10. Семёнов А.С. Моделирование режимов работы системы электроснабжения насосной станции // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3–2. – С. 314–319.

11. Семёнов А.С. Моделирование реостатного пуска двигателя постоянного тока с независимым возбуждением // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 9–2. – С. 29–34.

12. Семенов А.С. Основы моделирования электротехнических и электромеханических систем: методические указания. / М.: Издательство «Перо», 2016. – 48 с.

13. Семёнов А.С. Преподавание учебных дисциплин у специальностей «Электроснабжение» и «Электромеханика» с использованием программы MATLAB // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5–1. – С. 232–236.

14. Семёнов А.С. Программа MATLAB: методические указания к лабораторным работам. / Москва, 2012. – 40 с.
15. Семёнов А.С., Хубиева В.М., Кугушева Н.Н. Моделирование режимов работы систем электроснабжения горных предприятий: монография. / Москва, 2015. – 100 с.
16. Семёнов А.С., Кугушева Н.Н., Хубиева В.М. Моделирование режимов работы электроприводов горного оборудования: монография. / Saarbrucken, Deutschland, 2013. – 112 с.
17. Семёнов А.С., Кугушева Н.Н., Хубиева В.М. Моделирование режимов работы частотно-регулируемого электропривода вентиляторной установки главного проветривания применительно к подземному руднику по добыче алмазосодержащих пород // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8–5. – С. 1066–1070.
18. Семенов А.С., Кугушева Н.Н., Хубиева В.М., Ма-тул Г.А. Внедрение пакета программ MATLAB в учебную и научную работу студентов технических специальностей // Естественные и технические науки. – 2014. – № 3 (71). – С. 165–171.
19. 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.
20. Семёнов А.С., Хубиева В.М., Петрова М.Н. Математическое моделирование режимов работы двигателя постоянного тока в среде MATLAB // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 10–3. – С. 523–528.
21. Семёнов А.С., Якушев И.А., Егоров А.Н. Математическое моделирование технических систем в среде MATLAB // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 8. – С. 56–64.
22. Хубиева В.М., Петрова М.Н., Семёнов А.С. Проектирование электропривода подборщика путем моделирования: методическое пособие по дипломному проектированию. / Saarbrucken, Deutschland, 2015. – 96 с.
23. Шипулин В.С., Семёнов А.С. Моделирование режимов работы системы электроснабжения добычного участка подземного рудника // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8–2. – С. 344–347.
24. Semenov A.S., Shipulin V.S. Analysis of energy efficiency of the system drive centrifugal pump GRAT-4000 by modeling in MATLAB // Europäische Fachhochschule. – 2013. – № 1. – С. 228–230.