

УДК 621.311:629.12

DOI 10.46960/2658-6754_2023_1_51

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С ВНЕШНЕЙ ФОРСИРОВКОЙ

В.Г. Сугаков

ORCID: 0000-0003-2712-7717 e-mail: kaf_eeovt@vsuwt.ru
Волжский государственный университет водного транспорта
Нижний Новгород, Россия

О.С. Хватов

e-mail: khvatov_oleg@mail.ru
Волжский государственный университет водного транспорта
Нижний Новгород, Россия

А.А. Тошев

ORCID: 0009-0004-3141-8917 e-mail: toshev_a@mail.ru
Волжский государственный университет водного транспорта
Нижний Новгород, Россия

Л.В. Зобов

ORCID: 0000-0001-5133-0761 e-mail: zob-lavrik@yandex.ru
Волжский государственный университет водного транспорта
Нижний Новгород, Россия

В статье рассматриваются существующие и перспективные системы автоматического регулирования возбуждения синхронных генераторов автономных источников электроэнергии. Проведен анализ существующих принципов регулирования возбуждения, в частности, регулирования по отклонению напряжения генератора, а также регулирования по возмущению. Приведены качественные аспекты регулирования напряжения в динамических режимах работы системы. По результатам анализа предложено использовать внешнюю форсировку возбуждения для улучшения качества регулирования. Приводятся структурные схемы и устройства внешней форсировки. Использование внешней форсировки уменьшает перерегулирование за счет частоты вычитания записываемых кодов мгновенных значений тока. Отмечается, что наибольшее приращение тока наблюдается в области перехода мгновенного значения тока через ноль. Предложен вариант устройства дозирования форсировки, который включается в состав управляемой внешней форсировки и оценивает величину приращения тока, и подает управляющий сигнал, соответствующий данному приращению, исключающий перерегулирование. Приведены статистические

результаты применения систем автоматического регулирования с внешней форсировкой по различным показателям качества электрической энергии. Сделан вывод об экономической эффективности применения данных систем.

Ключевые слова: внешняя форсировка, двунаправленная форсировка, неуправляемая форсировка, однонаправленная форсировка, приращение тока, регулирование возбуждения, сброс и наброс нагрузки, синхронный генератор, управляемая форсировка.

Для цитирования: Сугаков В.Г., Хватов О.С., Тошев А.А., Зобов Л.В. Системы автоматического регулирования возбуждения синхронных генераторов автономных источников электроэнергии с внешней форсировкой // Интеллектуальная Электротехника. 2023. № 1. С. 51-61. DOI: 10.46960/2658-6754_2023_1_51

AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS FOR EXCITATION OF SYNCHRONOUS GENERATORS OF AUTONOMOUS POWER SOURCES WITH EXTERNAL BOOST

V.G. Sugakov

ORCID: **0000-0003-2712-7717** e-mail: **kaf_eeovt@vsuwt.ru**
Volga State University of Water Transport
Nizhny Novgorod, Russia

O.S. Khvatov

e-mail: **khvatov_oleg@mail.ru**
Volga State University of Water Transport
Nizhny Novgorod, Russia

A.A. Toshchev

ORCID: **0009-0004-3141-8917** e-mail: **toshev_a@mail.ru**
Volga State University of Water Transport
Nizhny Novgorod, Russia

L.V. Zobov

ORCID: **0000-0001-5133-0761** e-mail: **zob-lavrik@yandex.ru**
Volga State University of Water Transport
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article discusses the existing and promising systems of automatic excitation control of synchronous generators of autonomous power sources. The analysis of the existing principles of excitation regulation, in particular the regulation of the voltage deviation of the generator, as well as the regulation of perturbation. Qualitative aspects of voltage regulation in dynamic operating modes of the system are described. According to

the results of the analysis, an external excitation boost is proposed to use to improve the quality of regulation. Structural schemes of external forcing and external forcing devices are presented. The use of external forcing reduces overshoot due to the frequency of subtraction of the recorded codes of instantaneous current values. It is noted that the largest increment of current is observed in the region of the transition of the instantaneous current value through zero. It is an identification and is used by the launching bodies of the proposed system to launch an external boost. A variant of the boost metering device is suggested. This device is included in the controlled external boost and evaluates the value of the current increment, and gives a control signal corresponding to this increment, eliminating overshoot. The article presents statistical results of the use of automatic control systems with external forcing on various indicators of the quality of electrical energy, as well as reflects that the use of these systems can increase economic efficiency by eliminating the use of soft-start devices.

Keywords: bidirectional boost, controlled boost, current increment, excitation control, external boost, load shedding and boost, synchronous generator, uncontrolled boost, unidirectional boost.

For citation: V.G. Sugakov, O.S. Khvatov, A.A. Toshchev and L.V. Zobov, "Automatic control systems for excitation of synchronous generators of autonomous power sources with external boost", *Smart Electrical Engineering*, no. 1, pp. 51-61, 2023. DOI: 10.46960/2658-6754_2023_1_51

I. Введение

В настоящее время расширяется использование автономных источников электроэнергии (АИЭ), причем как в качестве основного источника для электропитания автономных объектов, так и в качестве резервных источников для повышения надежности электроснабжения. К числу АИЭ, в частности, относятся электроагрегаты (ЭА) с приводом от двигателей внутреннего сгорания [1], которые входят в состав передвижных [2, 3] и судовых электростанций. АИЭ характеризуются относительно небольшими мощностями, чем объясняются значительные отклонения напряжений при изменении величины и характера нагрузки. Поэтому остаются актуальными вопросы, связанные с регулированием возбуждения синхронных генераторов (СГ), входящих в состав АИЭ.

II. Материалы и методы

Для автоматического регулирования возбуждения СГ используются системы автоматического регулирования возбуждения (САРВ), реализующие различные принципы регулирования. Под принципом автоматического регулирования понимается закон формирования управляющего воздействия в системе, который зависит от того, используется ли для выработки управляющего закона причина (возмущение), вызывающая нарушение состояния объекта, или следствие (отклонение) как результат проявления этой

причины. Поэтому различают три принципа регулирования: по отклонению, по возмущению и комбинированный.

САРВ с регулированием по отклонению напряжения генератора, имеющие автоматические регуляторы напряжения (АРН), по своей структуре являются замкнутыми. В них для формирования регулирующего воздействия $y(t)$ используется информация о действительном значении регулируемой величины $u(t)$. Схема такой системы представлена на рис. 1, а. Автоматическое регулирующее устройство (АРУ) измеряет текущее значение напряжения $u(t)$. Затем оно сравнивает его с заданным уровнем напряжения $q(t)$ и определяет величину и знак ошибки управления $\varepsilon(t) = q(t) - u(t)$. В результате АРУ формирует регулирующее воздействие $y(t)$ на генератор (объект регулирования ОП), чтобы минимизировать эту ошибку. Цепь, по которой информация о текущем значении величины $u(t)$ передается с выхода объекта регулирования на выход АРУ с обратным знаком, называют главной отрицательной обратной связью (ГООС) автоматической системы.

Основным достоинством замкнутой САРВ является универсальность, которая выражается в том, что любое отклонение $u(t)$ от заданного значения $q(t)$, независимо от причины его возникновения $f(t)$, вызывает регулирующее воздействие $y(t)$, направленное на ликвидацию отклонения.

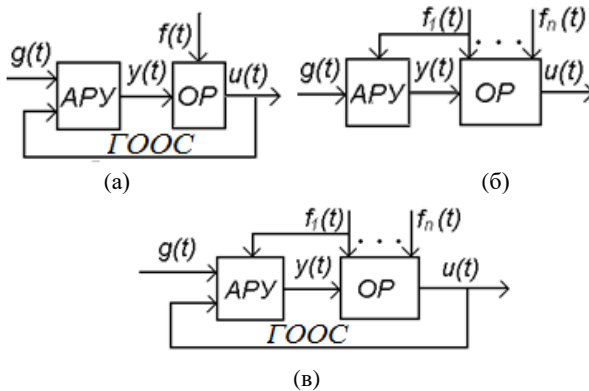


Рис. 1. Структурные схемы систем автоматического регулирования возбуждения: САРВ с регулированием по отклонению (а); САРВ с регулированием по возмущению (б); комбинированная САРВ (в)

Fig. 1. Structural diagrams of automatic excitation control systems: SAEC with deviation control (a); SAEC with disturbance control (б); combined SAEC (в)

Это особенно важно, когда объект регулирования подвержен влиянию многочисленных возмущающих воздействий (величина и характер

тока нагрузки, неравномерность частоты вращения ротора генератора, температура окружающей среды, степень прогрева элементов схемы и т.д.) САРВ по отклонению имеет высокую точность, однако их быстродействие невысоко, что обусловлено принципиальной необходимостью появления отклонения (ошибки) [4], лишь после возникновения которого начинает формироваться регулирующее воздействие. Импульсные АРН используются в САРВ генераторов типа ГАБ, ГА и др.

САРВ с регулированием по возмущению (рис. 1, б) называют системами компаундирования. Под компаундированием понимается суммирование постоянной и переменной составляющих возбуждения [5]. Постоянная составляющая пропорциональна напряжению генератора. Она обеспечивает возбуждение генератора на холостом ходу. Переменная (компаундирующая) составляющая пропорциональна току нагрузки и обеспечивает компенсацию потоков рассеивания и действия реакции якоря генератора. Физическая природа составляющих может быть различной: токи, напряжения, магнитные потоки, МДС и т.д. Способ сложения составляющих возбуждения определяет возможности САРВ по учету характера нагрузки. При векторном (геометрическом) сложении составляющих учитывается характер нагрузки, и такое компаундирование считается фазовым (амплитудно-фазовым). Алгебраическое сложение составляющих не позволяет учитывать характер нагрузки, и такое компаундирование называют токовым.

Если осуществляется суммирование составляющих возбуждения генератора, то компаундирование называют прямым, а если складываются составляющих возбуждения возбудителя генератора, то косвенным.

Системы компаундирования являются разомкнутыми, так как отсутствует ГООС, соединяющая выход объекта регулирования (ОР) с входом автоматического регулирующего устройства (АРУ). Регулирующее воздействие $y(t)$ вырабатывается на основе измерения главного возмущения $f_1(t)$, которым служит ток якоря генератора. Преимуществом разомкнутых систем является быстродействие, поскольку информация о возмущающем воздействии поступает в АРУ раньше, чем возникнет вызванное возмущением $f_1(t)$ отклонение. Это приводит к уменьшению отклонения напряжения и сокращению времени переходного процесса. Основным недостатком САРВ, регулирующих по возмущению – избирательность. Она не позволяет учесть все возмущающие факторы $f_1(t) \dots f_n(t)$, действующие одновременно на ОР, а реагирует лишь на главное возмущение $f_1(t)$. Следствием этого является снижение точности регулирования. Самостоятельное применение САРВ по возмущению ограничено источниками малой мощности и не нашло более широкого использования. Как правило, их вводят в состав комбинированных систем.

Комбинированные САРВ реализуют оба принципа регулирования (по отклонению и по возмущению) и обладают их достоинствами. В таких системах (рис. 1, в), наряду с замкнутым контуром, образованным ГООС, имеется цепь компенсации основного возмущающего воздействия $f_1(t)$. Управляющее воздействие $u(t)$ в этом случае является функцией возмущающего воздействия $f_1(t)$ и отклонения напряжения $u(t)$ от его заданного значения $q(t)$, т.е. функцией ошибки $\varepsilon(t) = q(t) - u(t)$. Отрицательное действие всех неучтенных возмущений $f_2(t) \dots f_n(t)$ в комбинированных САРВ компенсируется или ослабляется контуром регулирования по отклонению. Он осуществляет управление компаундированием. Поэтому схемы, реализующие комбинированный принцип регулирования, называют системами управляемого компаундирования, в отличие от схем неуправляемого компаундирования, в которых реализуется лишь принцип регулирования по возмущению.

Прямое управляемое фазное компаундирование используется в генераторах отечественного производства [6] МС, ГСС, ТСС, БГ, СГД, ГМС и др. Косвенное управляемое токовое компаундирование применяется в бесщеточных генераторах, например, ГСМ или 2СН.

III. Основная часть

Качество регулирования напряжения в динамических режимах определяется форсировочной способностью САРВ, предполагающей быстрое увеличение напряжения или тока возбуждения до предельного (потолочного) значения [7]. Форсировочная способность рассмотренных САРВ ограничена их внутренними ресурсами и не всегда является достаточной при набросе или сбросе нагрузки, мощность которой сопоставима с номинальной мощностью АИЭ.

Этот недостаток существующих САРВ может быть устранен путем использования внешней форсировки возбуждения, которая позволяет существенно увеличить форсировочную способность систем [8]. Под внешней форсировкой (ВФ) понимается упреждающее увеличение возбуждения СГ за счет энергии внешнего источника, в качестве которого возможно использование, например, аккумуляторной батареи, входящей в состав электроstarterной системы пуска ЭА. ВФ следует отличать от внешней форсировки начального возбуждения, которое применяется в ряде генераторов для ускорения процесса возбуждения при пуске СГ. Блок ВФ содержит коммутатор К (рис. 2, а), построенный на электронных ключах [9]. Коммутатор К подключает соответствующим образом к выходному сигналу $u(t)$ АРУ поток энергии от внешнего источника ВИ (рис. 2, б), входящего в устройство внешней форсировки УВФ. Это устройство оценивает характер изменения основного возмущения (тока) $f_1(t) = i(t)$ и управляет коммутатором К.

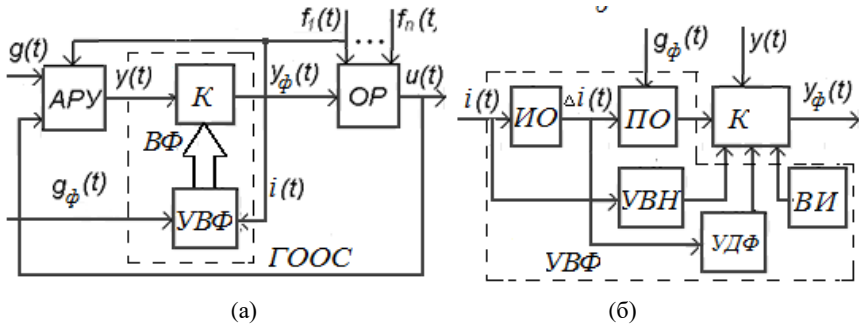


Рис. 2. Структурная схема САРВ с ВФ:
САРВ с ВФ (а); схема блока ВФ (б)

Fig. 2. Structural diagram of ARCS with external forcing (EF):
SAEC with EF (a); diagram of the EF block (б)

В общем случае УВФ может включать измерительный (ИО) и пусковой (ПО) органы, устройства выбора направления (УВН) и дозирования (УДФ) форсировки [10].

В состав ИО могут входить измерительный трансформатор, аналого-цифровой преобразователь, генератор стабильных импульсов, два регистра памяти, в которые поочередно записываются коды предыдущего и последующего мгновенного значения тока, и вычитатель, который определяет их разность. ИО измеряет приращение тока $\Delta i(t)$, которое зависит от момента выборки t (рис. 3, а) и частоты f_k выборки мгновенных значений (рис. 3, б), которая определяется частотой генератора импульсов.

IV. Результаты

Зависимость приращения тока от времени при различной частоте [11] показывает, что при увеличении частоты f_k выборки мгновенных значений в два раза (от 50 до 100 кГц) разница токов снижается с 38 до 20 %, за счет частоты вычитания записываемых кодов мгновенных значений тока улучшается быстродействие ВФ, уменьшая перерегулирование.

Наибольшее приращение $\Delta i(0)$ наблюдается в области перехода мгновенного значения тока через ноль. Оно является идентификационным и используется ПО (рис. 2, б) для запуска внешней форсировки. Основным элементом ПО является числовой компаратор, на один вход которого подается код приращения тока $\Delta i(t)$ с выхода ИО, а на другой вход – код допустимого приращения $q_{\phi}(t)$ с выхода задающего регистра. Код $q_{\phi}(t)$ соответствует пограничному уровню тока нагрузки, при котором еще достаточно внутренних ресурсов САРВ по обеспечению требуемого качества регулиро-

вания. Когда код $\Delta i(0)$ становится больше кода $q_{\Phi}(t)$, в момент перехода через ноль мгновенного значения тока ПО разрешает форсировку и запрещает ее, когда указанное условие не выполняется.

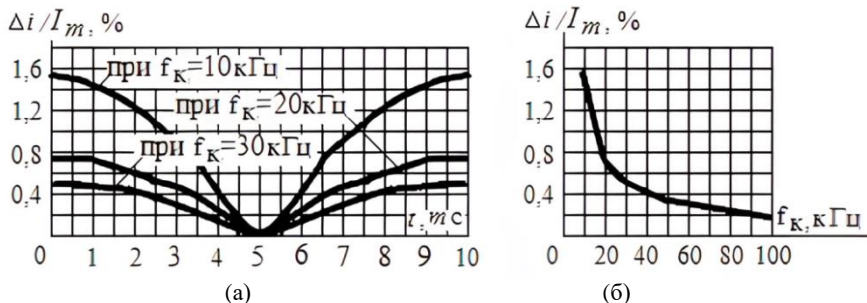


Рис. 3. Зависимости приращения тока от времени и частоты выборки мгновенных значений: зависимость от времени t (а); зависимость от частоты f_k (б)

Fig. 3. Dependences of the current increment on time and sampling frequency of instantaneous values: time dependence t (a); dependence on frequency f_k (b)

ВФ может быть однонаправленной [12, 13] и двунаправленной [14]. В структуре двунаправленной ВФ обязательно присутствие устройства выбора направления УВН, которое по характеру изменения амплитуды тока устанавливает факт наброса или сброса нагрузки и определяет для коммутатора К способ подключения внешнего источника ВИ (рис. 2, б). Однонаправленная ВФ корректирует возбуждения только при набросе нагрузки и в ее структуре УВН отсутствует.

В процессе работы ВФ в некоторых случаях возможно перерегулирование возбуждения. По возможности исключения чрезмерной форсировки различают управляемую ВФ [14] и неуправляемую ВФ [12, 13]. Управляемая ВФ имеет в составе УВФ устройство дозирования форсировки УДФ (рис. 2, б), которое оценивает величину приращения тока $\Delta i(t)$, и подает на коммутатор К управляющий сигнал, соответствующий данному приращению, исключающий перерегулирование. У неуправляемой ВФ описанная функция и УДФ, ее реализующая, отсутствует.

Таким образом, исходя из анализа приращения тока, САРВ с ВФ формирует на выходе коммутатора К (рис. 2, а) управляющее воздействие $u_{\Phi}(t)$, учитывающее будущее значение тока и характер его изменения.

У. Заключение

Проведенные исследования показали, что САРВ с ВФ по сравнению с САРВ без ВФ при прочих равных условиях позволяют улучшить показатели качества электроэнергии, снижая переходное отклонение напряжения на величину до 64 %, время восстановления напряжения – до 32 %, установившееся отклонение напряжения при изменении нагрузки – до 39 % и установившееся отклонение напряжения при неизменной нагрузке – до 42 %. Кроме того, САРВ с ВФ способны обеспечить пуск нагруженного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором мощностью до 37 % от номинальной мощности АИЭ, что в некоторых случаях позволяет повысить экономическую эффективность за счет отказа от использования устройств плавного пуска.

© Сугаков В.Г., 2023

© Хватов О.С., 2023

© Тоцев А.А., 2023

© Зобов Л.В., 2023

Поступила в редакцию 19.11.2022

Received 19.11.2022

Библиографический список

- [1] ГОСТ Р ИСО 8528-1–2005. Электроагрегаты генераторные переменного тока с приводом от двигателя внутреннего сгорания. Введ. 2007-01-01. М.: Стандартинформ, 2006. – 11 с.
- [2] Алексеев А. П., Кудряшев Г. Ф., Чекменев Е. Е. Дизельные и карбюраторные электроагрегаты и станции. М.: Машиностроение, 1973, – 544 с.
- [3] Емельянов И. А., Овчинников И. П. Многоагрегатные передвижные электростанции. М.: Воениздат, 1987. – 104 с.
- [4] Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. М.: Энергоатомиздат, 2000. – 252 с.
- [5] Темгеновская Т. В. Методы настройки автоматических регуляторов возбуждения синхронных генераторов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 3 (55). С. 84-94.
DOI: 10.26731/1813-9108.2017.3(55).84-94
- [6] Усольцев А.А. Векторное управление асинхронными двигателями. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2002. – 43 с.
- [7] Лейзгольд Д. Ю., Ромодин А.В., Трушников К.П. Показатели качества электрической энергии как индикаторы эффективности управления электропотреблением // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-7. С. 1501-1506.
- [8] Куро Ж. Современные технологии повышения качества электроэнергии при ее передаче и распределении // Новости электротехники. 2005. № 1 (31). С. 22-26.
- [9] Маковский А.Л. Силовые преобразователи электрической энергии в технических системах управления. Минск: БГУИР, 2018. – 252 с.

- [10] Лопухина Е.М., Семенчуков Г.А. Автоматизированное проектирование электрических машин малой мощности. М.: Высшая школа, 2002. – 511 с.
- [11] Железко Ю.С. О нормативных документах в области качества электроэнергии и условий потребления реактивной мощности // Электрические станции. 2002. № 6. С. 18-24.
- [12] Сугаков В.Г., Хватов О.С., Волошко В.С., Малышев Ю.С. Система возбуждения синхронного генератора, Пат. 2470454 RU, заявл. 02.02.10; опубл. 20.12.12. – Бюл. № 35.
- [13] Сугаков В.Г., Хватов О.С., Малышев Ю.С., Зобов Л.В. Система регулирования возбуждения синхронного генератора с внешней форсировкой, Пат. 2723989 RU, заявл. 02.12.19; опубл. 18.06.20. – Бюл. № 17.
- [14] Сугаков В.Г., Хватов О.С., Малышев Ю.С., Тошев А.А. Система возбуждения синхронного генератора с управляемой внешней форсировкой, Пат. 2523005 RU, заявл. 27.02.13; опубл. 20.07.14. – Бюл. № 20.

References

- [1] Elektroagregaty generatoryne peremennogo toka s privodom ot dvigatelya vnutrennego sgoraniya [Alternating current generating sets driven by an internal combustion engine], GOST R ISO 8528-1–2005, 2006 (in Russian).
- [2] A.P. Alekseev, G.F. Kudryashev and E.E. Chekmenev, *Dizel'nye i karbyurnyye elektroagregaty i stancii [Diesel and carburetor electric units and stations]*. Moscow: Mashinostroenie, 1973 (in Russian).
- [3] I.A. Emelyanov and I.P. Ovchinnikov, *Mnogoagregatnye peredvizhnye elektrostantsii [Multi-unit mobile electric stations]*. Moscow: Voenizdat, 1987 (in Russian).
- [4] I.V. Zhezhelenko and Yu.L. Saenko, *Pokazateli kachestva elektroenergii i ih kontrol' na promyshlennykh predpriyatiyakh [Power quality indicators and their control at industrial enterprises]*. Moscow: Energoatomizdat, 2000 (in Russian).
- [5] T.V. Temgenevskaya, “Methods of setting automatic excitation regulators of synchronous generators”, *Modern technologies. System analysis. Modeling*, vol. 3, no. 55, pp. 84-94, 2017. DOI: 10.26731/1813-9108.2017.3(55).84-94
- [6] A.A. Usoltsev, *Vektornoe upravlenie asinhronnymi dvigatelyami [Vector control of asynchronous motors]*. St. Petersburg: ITMO, 2002 (in Russian).
- [7] D.Yu. Leyzgold, A.V. Romodin, K.P. Trushnikov, “Power quality indicators as effectiveness indicators of power management”, *Fundamental research*, no. 11-7, pp. 1501-1506, 2014.
- [8] J. Kuro, “Sovremennyye tekhnologii povysheniya kachestva elektroenergii pri ee peredache i raspredelenii [Modern technologies for improving the quality of electricity in its transmission and distribution]”, *News of electrical engineering*, vol. 1, no. 31, pp. 22-26, 2005 (in Russian).
- [9] A.L. Makovsky, *Silovyye preobrazovateli elektricheskoy energii v tekhnicheskikh sistemah upravleniya [Power converters of electrical energy in technical control systems]*. Minsk: BSUIR, 2018 (in Russian).
- [10] E.M. Lopukhina and G.A. Semenchukov, *Avtomatizirovannoe proektirovanie elektricheskikh mashin maloy moshchnosti [Automated design of electrical machines of low power]*. Moscow: Higher school, 2002 (in Russian).

- [11] Yu.S. Zhelezko, “O normativnyh dokumentah v oblasti kachestva elektroenergii i uslovij potrebleniya reaktivnoj moshchnosti [About normative documents in the field of power quality and conditions of reactive power consumption]”, *Elektricheskie stantsii*, no. 6, pp. 18-24, 2002 (in Russian).
- [12] V.G. Sugakov, O.S. Khvatov, V.S. Voloshko and Yu.S. Malyshev, “Sistema возбуждения синхронного генератор [Excitation system of a synchronous generator]”, Patent RU 2470454, Dec. 20, 2012 (in Russian).
- [13] V.G. Sugakov, O.S. Khvatov, Yu.S. Malyshev and L.V. Zobov, “Sistema regulirovaniya возбуждения синхронного генератора с внешней форсировкой [Excitation control system of a synchronous generator with external forcing]”, Patent RU 2723989, Jun. 18, 2020 (in Russian).
- [14] V.G. Sugakov, O.S. Khvatov, Yu.S. Malyshev and A.A. Toshchev, “Sistema возбуждения синхронного генератора с управляемой внешней форсировкой [Excitation system of a synchronous generator with controlled external forcing]”, Patent RU 2523005, Jul. 20, 2014 (in Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Сугаков Валерий Геннадьевич, доктор технических наук, профессор Волжского государственного университета водного транспорта, Нижний Новгород, Российская Федерация.

Valeriy G. Sugakov, D. Sci. (Eng.), professor of the Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russian Federation.

Хватов Олег Станиславович, доктор технических наук, профессор Волжского государственного университета водного транспорта, Нижний Новгород, Российская Федерация.

Oleg S. Khvatov, D. Sci. (Eng.), professor of the Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russian Federation.

Тощев Александр Александрович, соискатель Волжского государственного университета водного транспорта, Нижний Новгород, Российская Федерация.

Aleksandr A. Toshchev, applicant of the Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russian Federation.

Зобов Лаврентий Владиславович, соискатель Волжского государственного университета водного транспорта, Нижний Новгород, Российская Федерация.

Lavrentii V. Zobov, applicant of the Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russian Federation.