

Расчет и конструирование

УДК 62-531.6

DOI: 10.14529/engin180301

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА И ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА

В.А. Миляев, П.Ю. Полозов, Е.Г. Поршнева, Д.М. Харя

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург, Россия*

Измерения выходных параметров энергетических установок, в частности частоты вращения вала, необходимо определять с высокой точностью. Показания значений штатных частотомеров не удовлетворяют этим требованиям, поэтому необходимо использовать современные методы.

В данной работе представлен альтернативный метод определения частоты вращения вала центробежного компрессора и коленчатого вала дизель-генератора с применением датчика Холла. Был изучен эффект Холла, проведен эксперимент и полученные результаты были сравнены с результатами со штатных приборов измерения. Для этого была реализована схема измерения, которая включает датчик Холла, осциллограф, элемент питания. Были проведены многократные измерения, необходимые для увеличения точности снятия данных. В результате были получены оптимальные величины зазора (между датчиком и замыкающим элементом), точное отображение на экране осциллографа значений напряжений входного сигнала. Проведены измерения частоты вращения вала центробежного компрессора и дизель-электрического агрегата питания. В эксперименте использовалась программа «DisCo» и осциллограф «VM8020». При снятии показаний со штатного частотомера погрешность измерений составляет 2 %, а в предложенном методе измерения погрешность составляет 1 %. Эксперимент подтвердил, что данный метод является более точным, простым и надежным в эксплуатации.

Достоинство работы состоит в том, что для проведения настроечных работ на агрегате питания можно, используя компьютерную программу и осциллограф «VM8020», с высокой точностью определить частоту вращения коленчатого вала двигателя. Найдено наиболее приемлемое решение точного определения частоты вращения вала компрессора и коленчатого вала дизельного агрегата. Данную методику по определению частоты вращения вала возможно применять в любых установках стационарного типа.

Ключевые слова: частота вращения, датчик Холла, дизель, компрессор, осциллограф, измерительный датчик, военная техника, регуляторная характеристика, рычаг.

Введение

На современном этапе развития общепромышленных электросетей, промышленного производства наблюдается рост потребляемых мощностей и, как следствие, увеличение интенсивности эксплуатации энергооборудования. Системы электроснабжения сталкиваются с дефицитом мощности. В Вооруженных силах Российской Федерации потребители специальных объектов электроэнергию заданных параметров получают от электроустановок, входящих в состав системы электроснабжения (СЭС). Под системой электроснабжения понимается взаимосвязанная совокупность электроустановок, предназначенных для выработки, преобразования и распределения электрической энергии между потребителями специального объекта [1]. Системы электроснабжения включают систему автономного энергоснабжения (САЭС) и систему внешнего электропитания (СВЭП), состоящие из дизельных электростанций (ДЭС) и распределительно-преобразовательных устройств (РПУ) (рис. 1).

Системы электроснабжения специальных объектов различного целевого назначения могут отличаться друг от друга составом и структурой входящих электроустановок, режимами работы, вариантами электроснабжения и др.

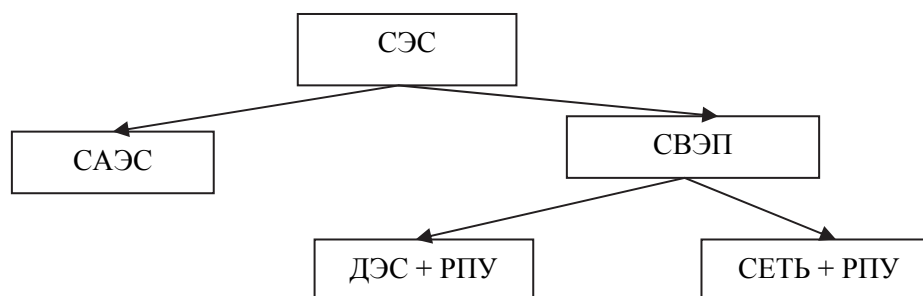


Рис. 1. Структура системы электроснабжения потребителей специальных объектов

Подсистему системы внешнего электропитания образуют придаваемые электроустановки, такие как дизельные электростанции, распределительно-преобразовательные устройства, перевозимые трансформаторные подстанции (ПТП) с кабельными комплектами и пультами местного и дистанционного управления. Одна из структур приведена на рис. 2 (Z – потребители).

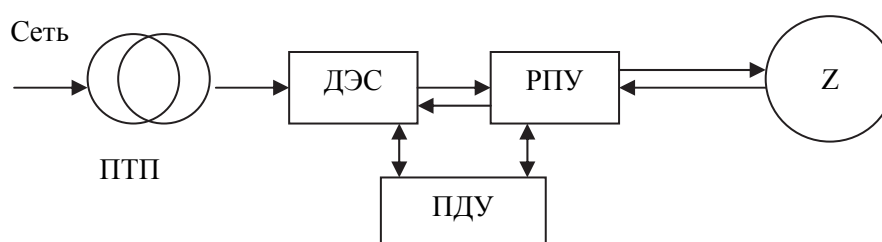


Рис. 2. Структура системы внешнего электропитания СВЭП

Постановка задачи

Одним из главных требований, предъявляемых к системам электропитания, является качественная и бесперебойная передача по кабельным сетям электроэнергии, поэтому одним из основных направлений работы является определение частоты вращения с использованием измерительных датчиков [2]. Для определения с высокой точностью частоты вращения необходимо использование современных методов измерений. Поэтому необходим эксперимент по минимизации погрешностей при проведении регулировок.

Обзор литературы

Измерительные датчики получили широкое применение в автомобильной технике, горной промышленности, медицинской, космической и военной технике. Датчики разрабатывают с различной конструкцией в зависимости от области применения [3].

Измерительные датчики обладают следующими достоинствами: наличие гальванической развязки, малые вес и габариты, безопасность при обслуживании, низкий уровень напряжения выходного сигнала, высокая точность измерений и др. [4]. Поскольку методы измерений токов, основанные на законе электромагнитной индукции, не могут применяться в цепях постоянного тока, наиболее распространенным и недорогим способом измерения тока становятся измерения с помощью датчиков, основанных на эффекте Холла [5, 17]. Эффект Холла, открытый Эдвином Холлом в 1879 году, является результатом действия силы Лоренца на заряженные частицы (носители тока) проводника или полупроводника, которые движутся в поперечном магнитном поле [4, 6, 16]. Датчики Холла очень удобны, так как имеют малые размеры и обеспечивают высокую точность измерений.

Датчики на эффекте Холла используют физический эффект, в котором магниточувствительный статор реализует весь потенциал элементной базы интегральных датчиков, позволяющий упрощать, улучшать измерительные системы, а также удешевлять их [7, 19]. Датчики позволяют проводить точные измерения практически в любых условиях окружающей среды (температура, вибрация, загрязнение), имеют низкую цену компонентов, требуют минимум обрабатываемой электроники, поэтому широко используются в технике [8, 20].

Теоретическая часть

В работе представлен эксперимент с использованием датчика на основе эффекта Холла в компрессоре и предложен вариант его использования в дизель-генераторе дизельной электрической станции [9]. Был использован датчик, представленный на рис. 3 и разработанный для широкой области применения, включая автомобильную и военную технику [10, 18]. Датчик рассчитан на диапазон рабочих температур от -40 до $+150$ °С, напряжение питания 4,5–24 В, имеет частотную характеристику до 100 кГц – 10–3600 об/мин.

Датчик (см. рис. 3) применяется для определения положения распределительного вала двигателя внутреннего сгорания (ДПРВ), а в данном случае он применен для определения частоты вращения коленчатого вала дизель-генератора.

Практическая часть

Первый этап эксперимента был проведен в лаборатории кафедры «Компрессорная, вакуумная и холодильная техника» Института энергетики и транспортных систем для определения частоты вращения ротора стэнда экспериментального центробежного компрессора (ЭЦК-2М) [11–13]. Для определения частоты вращения ротора стэнда ЭЦК-2М применялся датчик фаз торцевой (датчик положения распределительного вала – ДПРВ), принцип действия которого основан на эффекте Холла.

На рис. 4 датчик закреплен на корпусе стэнда ЭЦК-2М с помощью шпильки в неподвижном состоянии. В отверстие муфты ротора вкручивается металлический болт, который вращается вместе с муфтой. Между болтом и неподвижно закрепленным датчиком выставляется зазор от 0,5 до 1,5 мм.

Собирается электрическая схема, показанная на рис. 5. Принцип действия основан на регистрации сигнала осциллографом при прохождении болта через датчик, т. е. происходит замыкание цепи. Программа DisCo в режиме «Осциллограф» регистрирует частоту сигнала в Гц. Принцип работы программы DisCo приведен в Интернет-ресурсе [14]. Для того чтобы узнать частоту оборотов ротора, нужно частоту сигнала умножить на 60: $n = f \cdot 60$, об/мин.



Рис. 3. Датчик ДПРВ

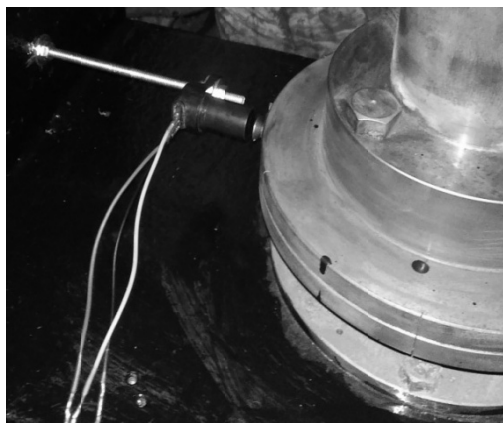


Рис. 4. Датчик ДПРВ на корпусе стэнда экспериментального центробежного компрессора ЭЦК-2М

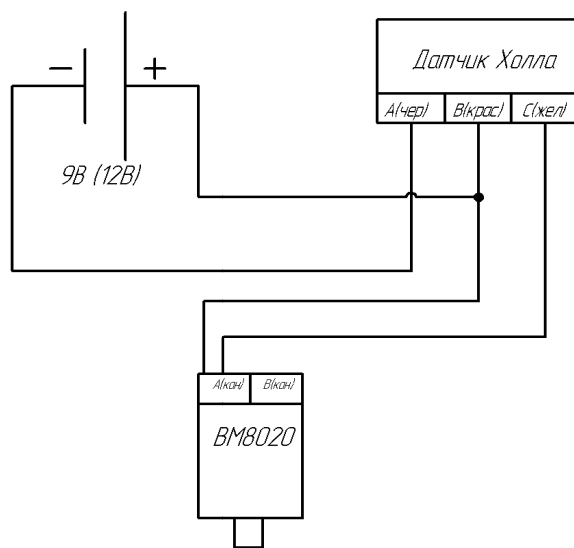


Рис. 5. Схема подключения осциллографа к датчику

Согласно результатам эксперимента частота сигнала равна 23,7 Гц, следовательно, искомая частота вращения – 1422 об/мин.

Второй этап эксперимента был проведен на военной кафедре Факультета военного обучения. При проведении практических занятий с использованием военной техники одним из заданий является проверка величины угла наклона малой регуляторной характеристики дизель-генератора.

Расчет и конструирование

Проверка угла наклона малой регуляторной характеристики проводится в следующей последовательности [15].

1. Запустить дизель-генератор, прогреть до рекомендуемой температуры охлаждающей жидкости и масла и при установившемся тепловом режиме нагрузить его на номинальную мощность (100 кВт) при частоте тока 50 Гц.

2. Снять нагрузку и проверить частоту тока, которая при 3%-ном основном наклоне регуляторной характеристики должна быть 51,5 Гц, что соответствует скорости вращения вала 1545 об/мин.

Наклон характеристики определяется по формуле:

$$\frac{f_1 - f_2}{f_2} \cdot 100 \%,$$

где f_1 – частота тока при частоте вращения дизеля на холостом ходу; f_2 – частота тока при номинальной частоте вращения дизеля.

Пример определения 3%-ного наклона регуляторной характеристики:

$$\frac{51,5 - 50}{50} \cdot 100 = 3 \%.$$

3. Для регулировки наклона характеристики регулятора ослабить гайку упора 1 (см. рис. 6) крепления рычага 3 и, перемещая рычаг в нужном направлении, найти такое положение, при котором частота тока будет равной требуемой величине при сбросе нагрузки. Нужно иметь в виду, что при перемещении рычага 3 по часовой стрелке наклон характеристики увеличивается.

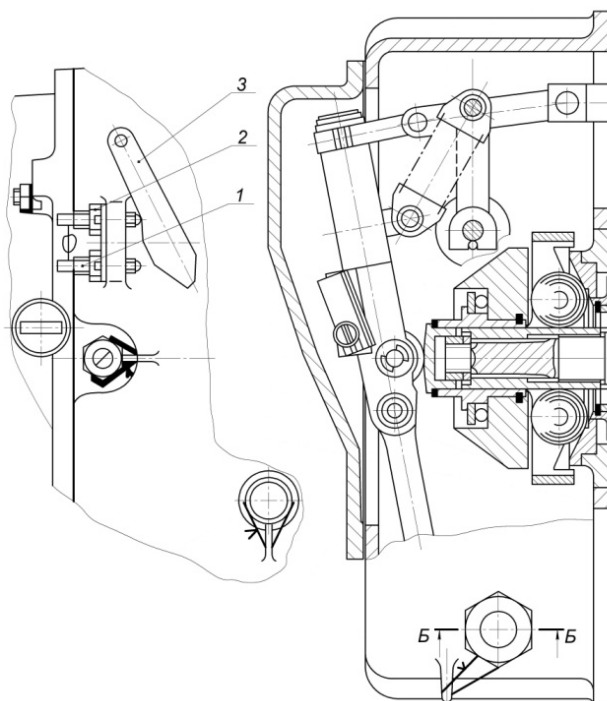


Рис. 6. Регулятор скорости: 1 – упор максимальных оборотов; 2 – упор останова дизеля; 3 – рычаг управления

Для повышения точности снятия показаний и, соответственно, точности регулировки частоты вращения коленчатого вала двигателя используем метод, описанный в первом этапе эксперимента, закрепив датчик на блок-картере, а металлический элемент, воздействующий на датчик, крепим на маховике (рис. 7).

Согласно результатам эксперимента частота сигнала равна 25,7 Гц, следовательно, искомая частота вращения – 1542 об/мин. При снятии показаний со штатного частотомера погрешность измерений составляет 2 %, а в данном случае погрешность составляет 1 %.



Рис. 7. Установка датчика Холла в дизель-генераторе 1Д20

Заключение

В результате работы был представлен и реализован альтернативный метод определения частоты вращения центробежного компрессора и коленчатого вала дизель-генератора. Эксперимент подтвердил, что данный метод является более точным, простым и надежным в эксплуатации.

Литература

1. Полозов, П.Ю. Устройство, принцип действия, работа и эксплуатация средств внешнего электропитания и средств автономного энергоснабжения / П.Ю. Полозов, Е.Г. Поршнева. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 75 с.
2. Миниатюрные датчики микроперемещения, углового положения и силы на эффекте холла / П.П. Моисеев, В.Б. Алымов, И.И. Нечушкин и др. // Решетневские чтения. – 2015. – № 19. – Т. 1. – С. 289–290.
3. Авдоченко, Б.И. Датчик слабых магнитных полей на основе эффекта холла / Б.И. Авдоченко, Г.Ф. Карлова, А.М. Цырендоржиева // Электронные средства и системы управления. – 2017. – № 1-1. – С. 228–230.
4. Онохин, Д.А. Перспективные технологии токовых измерений в электроэнергетике / Д.А. Онохин, И.М. Бабкин // Материалы I Международного заочного конкурса научно-исследовательских работ. Научно-образовательный центр «Знание». – 2010. – С. 194–202.
5. Шарафутдинова, Г.Г. Эффект холла / Г.Г. Шарафутдинова // Вопросы науки и образования. – 2017. – № 8 (9). – С. 12–13.
6. Кобус, А. Датчики Холла и магниторезисторы / А. Кобус, Я. Тушинский. – М.: Изд-во «Энергия», 1971. – 352 с.
7. Сотников, А.Г. Обеспечение надежности контроля тока и напряжения в приборах морской техники / А.Г. Сотников, А.С. Петрушенко // Морской вестник. – 2015. – № 3 (55). – С. 41.
8. Сысоева, С. Автомобильные датчики положения. Современные технологии и перспективы. Часть I. Потенциометры и датчики Холла – лидеры современного рынка / С. Сысоева // Компоненты и технологии. – 2005. – № 2. – С. 52–59.
9. Возможность использования датчика холла в физическом практикуме для определения концентрации носителей тока в полупроводниках / Т.Е. Абенов, Ж.С. Кажиакапарова, Ж.К. Кадирова, Д.Ж. Абдрахманова // Междунар. журнал прикладных и фундамент. исследований. – 2016. – № 1–3. – С. 331–333.
10. Белобородова, М.Е. Методика проведения физического практикума на примере лабораторной работы «Изучение эффекта Холла в полупроводниках» / М.Е. Белобородова, Б.Д. Юдин // Преподаватель XXI век. – 2016. – Т. 1. – № 4. – С. 260–266.
11. Галеркин, Ю.Б. Турбокомпрессоры / Ю.Б. Галеркин, Л.И. Козаченко. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 374 с.
12. Построение расчетной сетки в TurboGrid. – <http://student-engineer.pro/index.php?page=ansys/cfx/cfxmeshTG> (дата обращения: 03.05.2018).
13. Снегирёв, А.Ю. Высокпроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений / А.Ю. Снегирёв. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 143 с.

14. Снятие осциллограммы. – <http://motor-master.ru/component/content/article/9-disco/3-snyatie-ostsillogrammy> (дата обращения: 29.03.2018).
15. Эксплуатация энергоустановок / П.Ю. Полозов, Е.Г. Поршнева, В.Н. Ролик, В.А. Родионов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 288 с.
16. Ashcroft, N.W. Solid state physics / N.W. Ashcroft, N.D. Mermun. – USA: Saunders college, 1976. – 848 p.
17. Preston, D.W. The art of experimental physics / D.W. Preston, E.R. Dietz. – USA, 1991. – 432 p.
18. Hall effect and its application in the design & operation of electronically controlled brushless DC Motors / N. Chaudhary, A. Mishra, K. Jamwal, et al. // International journal of application or innovation in engineering and management. – 2012. – Vol. 1. – Iss. 2. – P. 201–207.
19. Ramsden, E. Hall-effect sensors. Theory and applications / E. Ramsden. – USA, 2006. – 250 p.
20. Popovic, R.S. Hall effect devices second edition / R.S. Popovic. – USA, 2004. – 426 p.

Миляев Вячеслав Александрович, студент Института энергетики и транспортных систем, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, milyaev.slavik@yandex.ru.

Полозов Павел Юрьевич, старший преподаватель военной кафедры Воздушно-космических сил Факультета военного обучения, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, pavel.polozov.1965@mail.ru.

Поршнева Елена Геннадьевна, кандидат педагогических наук, доцент военной кафедры Воздушно-космических сил Факультета военного обучения, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, a_porshneva@mail.ru.

Харя Дан Михайлович, студент Института энергетики и транспортных систем, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, dan.kharya@mail.ru.

Поступила в редакцию 26 июня 2018 г.

DOI: 10.14529/engin180301

METHOD FOR DETERMINING THE SHAFT SPEED OF A CENTRIFUGAL COMPRESSOR AND DIESEL-GENERATOR

V.A. Milyaev, milyaev.slavik@yandex.ru,

P.Yu. Polozov, pavel.polozov.1965@mail.ru,

E.G. Porshneva, a_porshneva@mail.ru,

D.M. Harya, dan.kharya@mail.ru

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation

The output parameters of power plants, the shaft speed in particular, must be measured with high accuracy. The readings of standard frequency meters fail to satisfy such requirements, therefore it is necessary to use advanced methods.

This paper describes an alternative method for determining the shaft speed of a centrifugal compressor and the crankshaft of a diesel generator using a Hall sensor. The Hall Effect was studied, the experiment was conducted and the experimental data were compared with the readings of standard measuring instruments. A measurement circuit was implemented for this purpose. The measurement circuit included a Hall sensor, an oscilloscope, and a power cell. Numerous measurements were taken to increase the accuracy of data collection.

As a result, the optimum values of the gap setting (between the sensor and the closing element) were obtained, and the voltage values of the input signal were accurately displayed on the oscilloscope screen. The shaft speed of a centrifugal compressor and a diesel-electric power unit was measured.

The experiment was conducted using the “DisCo” software and the “VM8020” oscilloscope. When taking readings from a standard frequency meter, the measurement error is 2%, whereas it was only 1% in the proposed measurement method. The experiment confirmed that this method is more accurate, simpler and more reliable in use.

The advantage of the research is that it makes it possible to determine the crankshaft speed of the engine with high accuracy in order to make the adjustments on the power unit using the software and “VM8020” oscilloscope. We found the most acceptable solution for determining the exact shaft speed of the compressor and the crankshaft speed of the diesel unit. This method for determining the shaft speed can be used in any stationary plants.

Keywords: rotation frequency, Hall sensor, diesel, compressor, oscilloscope, measuring sensor, military equipment, control characteristic, lever.

References

1. Polozov P.Yu., Porshneva E.G. *Ustroystvo, printsip deystviya, rabota i ekspluatatsiya sredstv vneshnego elektropitaniya i sredstv avtonomnogo energosnabzheniya* [Structure, Operating Principle, Functioning and Running of External and Stand-Alone Power Supply Systems]. St. Petersburg, Polytechnic University Publ., 2014. 75 p.
2. Moiseev P.P., Alymov V.B., Nechuschkin I.I., Vlasova E.G. [Micrometric Movement, Angular Position and Force Miniature Sensors on the Hall Effect]. *Reshetnev Readings*, 2015, vol. 1, no. 19, pp. 289–290. (in Russ.)
3. Avdochenko B.I., Karlova G.F., Tsyrendorzhiyeva A.M. [The Sensor of Weak Magnetic Fields on the Hall Effect]. *Elektronnye sredstva i sistemy upravleniya* [Electronic Devices and Control Systems], 2017, no. 1-1, pp. 228–230. (in Russ.)
4. Onokhin D.A., Babkin I.M. [Perspective Technologies of Current Measurements in the Electric Power Industry]. *Materials of the First International Extramural Competition of Scientific Research Works*, 2010, pp. 194–202. (in Russ.)
5. Sharafutdinova G.G. [The Hall Effect]. *Science and Education*, 2017, no. 8 (9), pp. 12–13. (in Russ.)
6. Kobus A., Tushinskiy Ya. *Datchiki Kholla i magnitorezistory* [The Hall sensor and Magnetoresistors]. Moscow, Energy Publ., 1971. 352 p.
7. Sotnikov A.G., Petrushenko A.S. [Reliability of Current and Voltage Control in Devices of Marine Facilities]. *Morskoy Vestnik*, 2015, no. 3 (55), p. 41. (in Russ.)
8. Sysoeva S. [Automotive Position Sensors. Modern Technologies and Prospects. Part 1. Potentiometers and the Hall Sensor – Leaders of the Modern Market]. *Components and Technologies*, 2005, no. 2, pp. 52–59. (in Russ.)
9. Abenov T.E., Kazhiakparova J.S., Kadirova J.C., Abdrakhmanov D.Z. [Possibility of Use of Hall Sensor in Physical Workshop for Determining the Conservation of Charge Carriers in Semiconductors]. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2016, no. 1-3, pp. 331–333. (in Russ.)
10. Beloborodova M.Eu, Yudin B.D. [Methods of Workshop in Physics on the Example of Laboratory Work “The Hall Effect Study in Semiconductors”]. *Prepodavatel XXI vek*, 2016, vol. 1, no. 4, pp. 260–266. (in Russ.)
11. Galerkin Yu.B., Kozachenko L.I. *Turbokompressory* [Turbochargers]. St. Petersburg, Polytechnic University Publ., 2008. 374 p.
12. *Postroyeniye raschetnoy setki v TurboGrid* [Construction of a Computational Grid in TurboGrid]. Available at: <http://student-engineer.pro/index.php?page=ansys/cfx/cfxmeshTG> (accessed 03.05.2018).
13. Snegirev A.Yu. *Vysokoproizvoditel'nye vychisleniya v tekhnicheskoy fizike. Chislennoe modelirovaniye turbulentnykh techeniy* [High-performance Computing in Technical Physics. Numerical Simulation of Turbulent Flows]. St. Petersburg, Polytechnic University Publ., 2009. 143 p.
14. *Snyatie ostsillogrammy* [Measurement on the Oscillogram]. Available at: <http://motor-master.ru/component/content/article/9-disco/3-snyatie-ostsillogrammy> (accessed 29.03.2018).
15. Polozov P.Yu., Porshneva E.G., Rolik V.N., Rodionov V.A. *Ekspluatatsiya energostanovok* [Running of Electric Propulsion Systems]. St. Petersburg, Polytechnic University Publ., 2017. 288 p.

Расчет и конструирование

16. Ashcroft N.W., Mermun N.D. *Solid State Physics*. USA, 1976. 848 p.
17. Preston D.W., Dietz E.R. *The art of Experimental Physics*. USA, 1991. 432 p.
18. Chaudhary N., Mishra A., Jamwal K., Madhav M., Rajput K. Hall Effect and Its Application in the Design and Operation of Electronically Controlled Brushless DC Motors. *International Journal of Application or Innovation in Engineering and Management*, 2012, vol. 1, iss. 2, pp. 201–207.
19. Ramsden E. *Hall-effect Sensors. Theory and Applications*. USA, 2006. 250 p.
20. Popovic R.S. *Hall Effect Devices Second Edition*. USA, 2004. 426 p.

Received 26 June 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Методика определения частоты вращения вала центробежного компрессора и дизель-генератора / В.А. Миляев, П.Ю. Полозов, Е.Г. Поршнева, Д.М. Харя // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2018. – Т. 18, № 3. – С. 5–12. DOI: 10.14529/engin180301

FOR CITATION

Milyaev V.A., Polozov P.Yu., Porshneva E.G., Harya D.M. Method for Determining the Shaft Speed of a Centrifugal Compressor and Diesel-Generator. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2018, vol. 18, no. 3, pp. 5–12. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin180301
