

<http://dx.doi.org/10.15589/evn20140207>

УДК 681.5

Б 92

## INFLUENCE OF SWITCHING OF HIGH-POWER LOADS ON THE QUALITATIVE VOLTAGE INDICATORS IN AUTONOMOUS EPS

### ВЛИЯНИЕ КОММУТАЦИИ МОЩНЫХ НАГРУЗОК НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Volodymyr S. Buriak

[educatocom@gmail.com](mailto:educatocom@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-0982-2807

Yazid Al Shaikh

[vip.yazid@mail.ru](mailto:vip.yazid@mail.ru)

ORCID: 0000-0003-0724-2961

В. С. Буряк,

ст. преп.;

Язид Аль Шайх,

асп.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, г. Николаев

**Abstract.** The nature of the problem arising at the connection – disconnection of high-power loads in the ship electrical power plant systems has been described. The studies of the changes of voltage and frequency of the network at the load rise and dump are carried out. It is determined that at the connection – disconnection of high-power consumers these parameters in many cases exceed the acceptable norms established by the Register both by the size of bumps – failures and by the period of their existence. It is shown that such situations took place due to the increase of requirements to the ship networks loadings. Taking into account the fact that advanced vessels are fully equipped with various electronic equipment, such as automation and navigation systems, a number of consumers face difficult operation conditions under which their normal performance may be disrupted. It is determined that similar situations are mostly specific for low-tonnage vessels, for example, tows. The necessity of searching for new ways of ensuring high-quality switching of high-power consumers to eliminate the encountered problems is shown. The ways to improve the quality of the power line parameters, which should be further studied as applied to ship power plants are suggested. The dynamic changeover of the controllers of the systems of stabilization of the electric network parameters and the anticipatory control methods should be included to such ways.

**Keywords:** start-up of the asynchronous motor; distortion of the supply voltage; start-up protective equipment.

**Аннотация.** Рассмотрена суть проблемы, возникающей при подключении–отключении мощных нагрузок в судовых электроэнергетических системах. Проведено исследование изменения напряжения и частоты сети при набросе и сбросе нагрузки. Предложены способы улучшения качества параметров сети.

**Ключевые слова:** пуск асинхронного двигателя; искажение питающего напряжения; пускозащитная аппаратура.

**Анотація.** Розглянуто проблему, що виникає при підключенні–відключенні потужних навантажень у судових електроенергетичних системах. Проведено дослідження змін напруги та частоти мережі при накиданні та скиданні навантаження. Запропоновано способи покращення якості параметрів мережі живлення.

**Ключові слова:** пуск асинхронного двигуна; спотворення напруги живлення; пускозахисна апаратура.

## REFERENCES

- [1] Baranov A.P. *Avtomaticheskoe upravlenie sudovymi elektroenergeticheskimi ustanovkami* [Automatic control over the ship electric power plant]. Moscow, Transport Publ., 1981. 225 p.
- [2] Veretennikov L.P. *Issledovanie protsessov v sudovykh elektroenergeticheskikh sistemakh* [Study of the processes in the ship power plant systems]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1975. 376 p.
- [3] Konstantinov V.N. *Sistemy i ustroystva avtomatizatsii sudovykh elektroenergeticheskikh ustanovok* [Systems and devices of automation of the ship electric power plants]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1972. 352 p.
- [4] Meshchaninov P.A. *Avtomatizatsiya sudovykh elektroenergeticheskikh system* [Automation of the ship electric power systems]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1970. 367 p.
- [5] Mikhaylov V.A. *Avtomatizirovannye elektroenergeticheskie sistemy sudov* [Automated ship electric power systems]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1977. 512 p.

- [6] Ryabenskiy V.M., Ushkarenko A.O., Voskoboenko V.I., Nguen Van Tkhan. Optimizatsiya parametrov regulatora sistemy возбуждения pri rezkoperemennykh nagruzkakh (Optimization of the parameters of the controller of the excitation system with sharply variable loads). II Mizhnarodna naukovno-tekhnichna konferentsiia «Innovatsii v sudnograduvanni ta okeanotekhnitsi» – The 2<sup>nd</sup> International Scientific and Technical Conference «Innovations in Shipbuilding and Ocean Engineering», 2011. Available at: <http://conference.nuos.edu.ua>.
- [7] Yakovlev G.S. Opredelenie nagruzok i vybor generatorov elektroenergeticheskikh sistem sovremennykh sudov [Determination of loads and selection of generators of the electric power systems of advanced ships]. *Voprosy sudostroeniya. Sudovaya elektrotehnika i svyaz – Shipbuilding issues. Ship electrotechnics and communication*, 1984, issue 41.
- [8] Yakovlev G.S. *Sudovye elektroenergeticheskie sistemy* [Ship electric power systems]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1987. 267 p.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

При подключении–отключении мощных потребителей параметры колебаний показателей питающего напряжения судовой электроэнергетической сети, как по величине всплесков–провалов, так и по времени их существования, часто выходят за допустимые нормы, устанавливаемые Регистром. Таким образом, ряд потребителей оказываются в сложных эксплуатационных условиях, при которых возможно нарушение их нормальной работы. Поэтому возникает необходимость в принятии дополнительных мер в целях улучшения качества параметров сетевого напряжения.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Процессы, имеющие место при подключении–отключении мощных потребителей, теоретически описаны в [1–5, 7, 8].

В [6] авторами (сотрудниками кафедры ТЭЭС НУК) была предложена оптимизация параметров регулятора системы возбуждения при резкопеременных нагрузках, что является одним из вариантов борьбы с нежелательными всплесками–провалами параметров питающего напряжения СЭЭС.

**ЦЕЛЬ СТАТЬИ** – провести исследование всплесков–провалов напряжения и частоты судовой электроэнергетической сети при подключении–отключении мощных нагрузок в виде асинхронного двигателя.

На основе эксперимента установлено, что динамические параметры напряжения судовой ЭЭС выходят за пределы, допустимые Регистром и ГОСТ, а средства плавного пуска вносят такие искажения, которые недопустимы для современных судов и могут приводить к сбоям в работе электронной аппаратуры и систем автоматики, поэтому эти проблемы необходимо устранять.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Рост энергооснащенности судов, стремление к экономии топлива приводят к появлению ряда проблем, связанных с коммутацией мощных нагрузок. Если по правилам эксплуатации судовой электростанции раньше считалось нормой, когда генераторные агрегаты

работают в недогруженном режиме, то в настоящее время они должны быть загружены практически на мощность, близкую к номинальной. Это, с одной стороны, снижает эксплуатационные расходы, а с другой – нередко приводит к определенным перегрузкам работающих генераторов, значительным снижениям напряжения сети и частоты вращения приводного двигателя. Поскольку пускорегулирующая аппаратура судовых приводов практически в обязательном порядке настроена на защиту от перенапряжений сети и от провалов напряжений, то значительные всплески и провалы могут привести к отключению многих потребителей. С другой стороны, провалы напряжений часто сопровождаются снижением оборотов приводного двигателя генераторного агрегата, что, в свою очередь, приводит к снижению частоты питающей сети, уменьшению активной мощности, генерируемой им, и, соответственно, к росту перегрузки. Как следствие, при кажущейся безобидной ситуации может произойти защитное отключение работающего генератора, т. е. «развал» электростанции. Подобные ситуации детально исследовались сотрудниками кафедры ТЭЭС НУК.

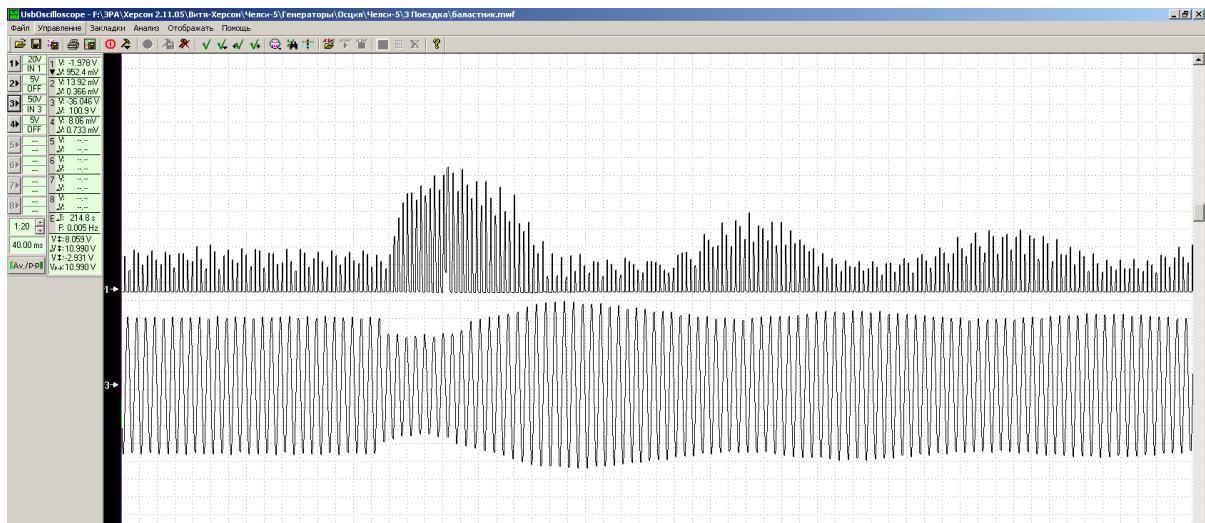
На рис. 1,а приведена осциллограмма пуска мощного асинхронного двигателя (35 кВт) от дизель-генератора мощностью 150 кВт на буксире «Челси-5». Провал напряжения, как видно из осциллограммы, составляет 35 %. При таком провале, который длится 0,2 с, сработает пускозащитная аппаратура, которая настроена на провал 15 %. Как следует из осциллограммы, процесс сопровождается длительными колебаниями напряжения сети.

На рис. 1,б приведена аналогичная осциллограмма при включении двигателя с мощностью, в два раза меньшей, чем в предыдущем случае. При этом величина провала составляет 16 %.

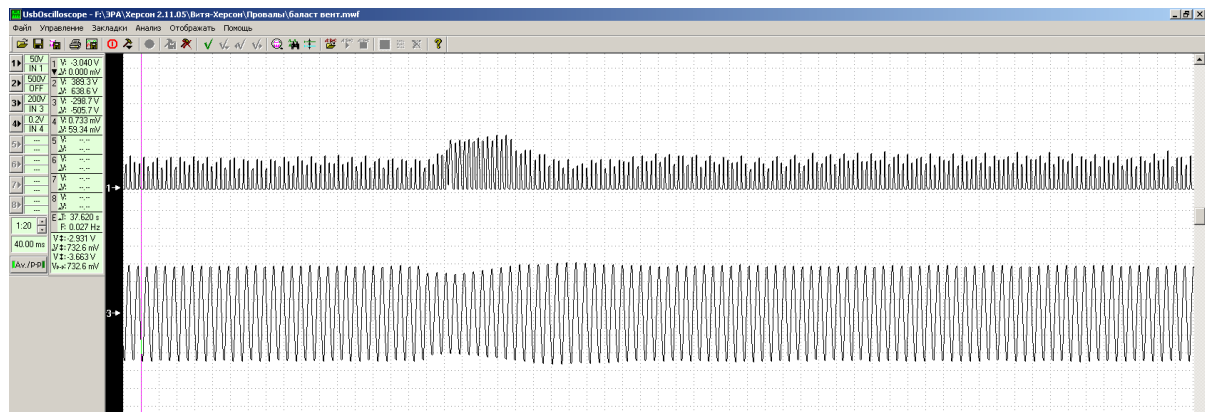
На судах применяется довольно большое количество асинхронных двигателей, мощности которых в какой-то мере соизмеримы с мощностями отдельных генераторов (это особенно касается маломерных судов, буксиров и т. п.). К ним относятся двигатели мощных насосов: пожарные, вентиляции машинно-котельного отделения, подруливающих устройств.

На рис. 2 приведен пример установки асинхронного двигателя подруливающего устройства, используемого на буксире «Челси-4», о котором будет идти речь ниже, а на рис. 3 – пример установки двигателя

балластного насоса мощностью 27 кВт (на переднем плане, а вдали – питающий его синхронный генератор). На рис. 4 приведено изображение дизель-генератора мощностью 150 кВт буксира «Челси-7».



*a*



*b*

**Рис. 1.** Осциллограмма пускового тока: *a* – мощного асинхронного двигателя; *b* – асинхронного двигателя в два раза меньшей мощности



**Рис. 2.** Установка асинхронного двигателя подруливающего устройства на буксире «Челси-4»



**Рис. 3.** Установка двигателя балластного насоса на буксире «Челси-4»

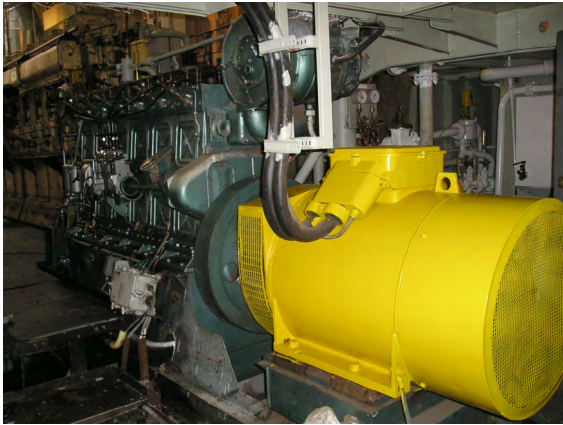


Рис. 4. Дизель-генератор буксира «Челси-7»

Если учесть, что полный пусковой ток асинхронного двигателя достигает 12-кратной величины от его номинального значения, то даже при  $\cos \varphi = 0,5$  мгновенная активная потребляемая мощность может пре-

вышать 120 кВт. При этом процесс пуска получается сильно затянутым во времени и с большими перегрузками электрических машин и приводного двигателя. Подобный процесс изображен на осциллограмме напряжения, снятой на буксире «Челси-4» (рис. 5).

Приведенные результаты экспериментальных исследований, выполненных на построенных и эксплуатируемых судах, отражают исключительно проблему провалов напряжений, поскольку только эти задачи ставились при сдаточных испытаниях.

Ниже приводятся результаты сдаточных испытаний, проведенных на буксире G07-BM (рис. 6). Это штатные испытания дизель-генераторов на подключение и отключение активной нагрузки. Из осциллограмм видно, что при набросе нагрузки частота сети имеет провал на 2 Гц (0,4 %), а напряжение уменьшается до 340 В, т. е. на 15 %. Аналогично при сбросе нагрузки имеет место как всплеск напряжения, так и всплеск частоты, соответственно на 12 и на 0,2 %.

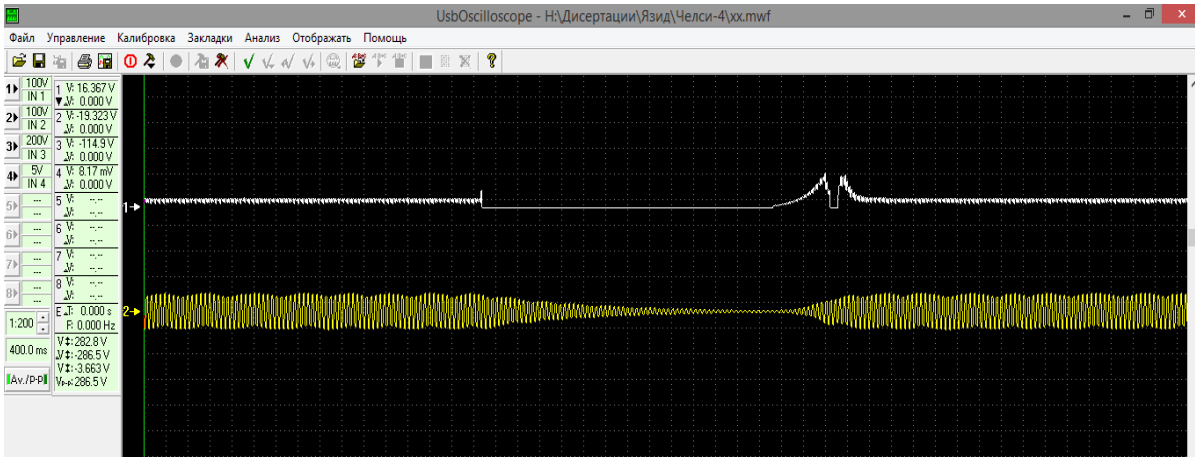


Рис. 5. Осциллограмма процесса пуска асинхронного двигателя на буксире «Челси-4»

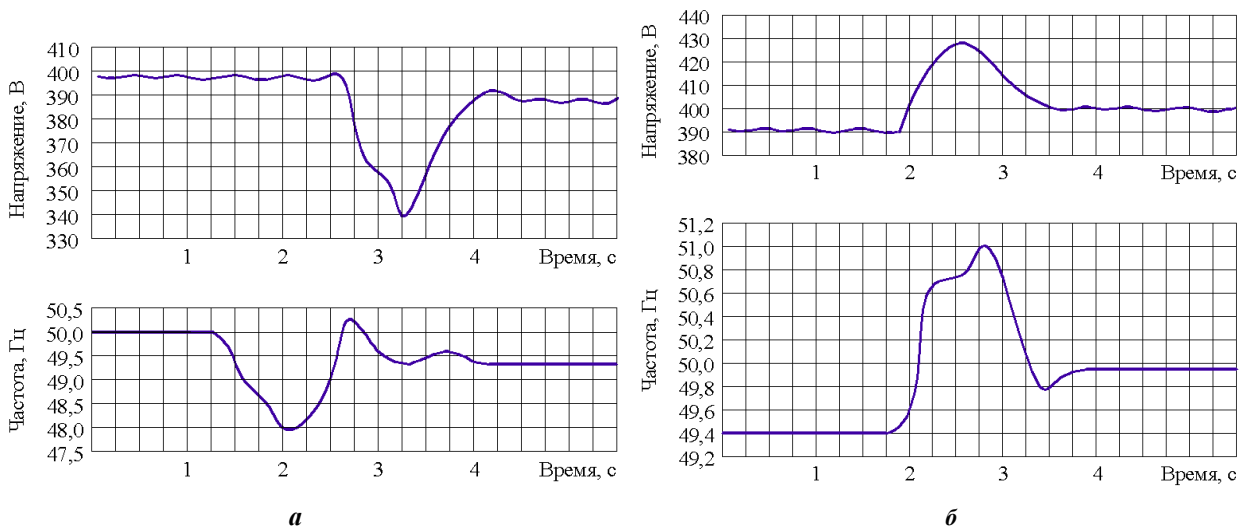


Рис. 6. Результаты испытаний, проведенных на буксире G07-BM: *а* – напряжение и частота при набросе нагрузки с 0 до 100 %; *б* – напряжение и частота при сбросе нагрузки со 100 до 0 %



В течение ряда лет интенсивно внедряются в практику средства плавного пуска асинхронных двигателей. Фактически все ведущие электротехнические компании выпускают широкий ряд таких устройств. Однако, к сожалению, в судовой практике такие устройства зарекомендовали себя далеко не с лучшей стороны.

На рис. 7 приведены осциллограммы напряжений при пуске асинхронного двигателя подруливающего устройства на буксире «Челси-5». Как следует

из этого рисунка, искажения питающих напряжений превышают все допустимые нормы (5 %), что, естественно, будет сказываться на работе судовой электроники.

Даже в тех случаях, когда с помощью устройств плавного пуска запускаются слабомощные двигатели, искажения также достигают заметных величин. На рис. 8 приведены осциллограммы напряжений на шинах ГРЩ, когда запускался асинхронный двигатель мощностью 10 кВт вдали от шин.

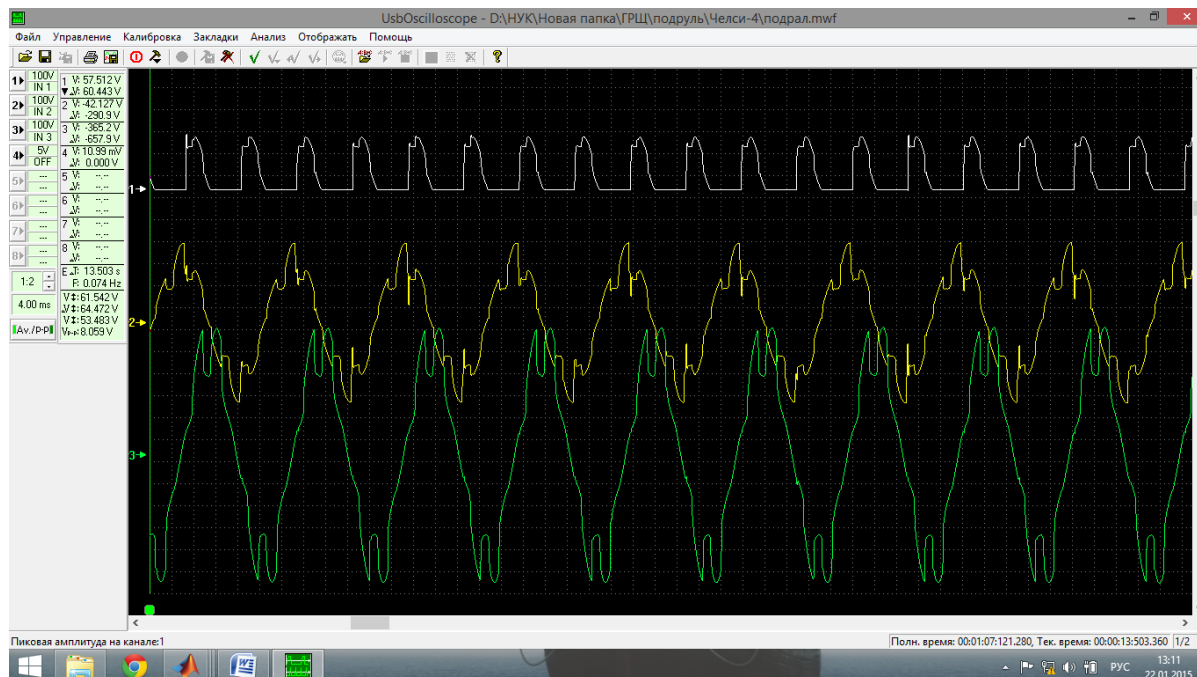


Рис. 7. Осциллограммы напряжений при пуске асинхронного двигателя на буксире «Челси-5»

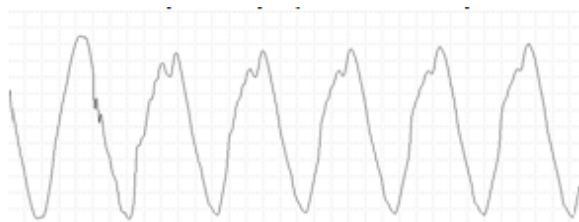


Рис. 8. Осциллограммы напряжений на шинах ГРЩ при запуске асинхронного двигателя вдали от шин

### ВЫВОДЫ

1. Существующие средства пуска асинхронных двигателей, в том числе средства плавного пуска, не удовлетворяют современным требованиям обеспечения качества напряжений СЭС, а системы стабилизации напряжений и частоты не обеспечивают возрастающие требования к автономным электроэнергетическим системам.

2. Таким образом, современные автономные электроэнергетические системы, работая в напряженных режимах, не обеспечивают надлежащего качества напряжения и частоты питающей сети. Поскольку в системах стабилизации этих параметров в настоящее время используются микропроцессорные системы, реализующие управление по отклонению и по возмущению, следует изыскивать новые, более эффективные, средства управления, к которым можно отнести использование упреждающего управления и управления с адаптивными регуляторами отдельных параметров, в том числе и с нечеткими регуляторами.

3. Всплески и провалы напряжения и частоты выходят за допустимые величины, ограниченные требованиями Регистра. Но даже в тех случаях, когда они не выходят за рамки упомянутых требований, они существенно влияют на работу электронной аппаратуры, поэтому необходимо предпринимать дополнительные меры по ее защите.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Баранов, А. П.** Автоматическое управление судовыми электроэнергетическими установками [Текст] / А. П. Баранов. – М. : Транспорт, 1981. – 225 с.
- [2] **Веретенников, Л. П.** Исследование процессов в судовых электроэнергетических системах: Теория и методы [Текст] / Л. П. Веретенников. – Л. : Судостроение, 1975. – 376 с.
- [3] **Константинов, В. Н.** Системы и устройства автоматизации судовых электроэнергетических установок [Текст] / В. Н. Константинов. – Л. : Судостроение, 1972. – 352 с.
- [4] **Мещанинов, П. А.** Автоматизация судовых электроэнергетических систем [Текст] / П. А. Мещанинов. – Л. : Судостроение, 1970. – 367 с.
- [5] **Михайлов, В. А.** Автоматизированные электроэнергетические системы судов [Текст] / В. А. Михайлов. – Л. : Судостроение, 1977. – 512 с.
- [6] Оптимизация параметров регулятора системы возбуждения при резкопеременных нагрузках [Электронный ресурс] / В. М. Рябенский, А. О. Ушкаренко, В. И. Воскобоев, Нгуен Ван Тхань // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці : II Міжнар. наук.-техн. конф. – Миколаїв : НУК, 2011. – Режим доступу: <http://conference.nuos.edu.ua>.
- [7] **Яковлев, Г. С.** Определение нагрузок и выбор генераторов электроэнергетических систем современных судов [Текст] / Г. С. Яковлев // Вопросы судостроения. Судовая электротехника и связь. – 1984. – Вып. 41.
- [8] **Яковлев, Г. С.** Судовые электроэнергетические системы [Текст] : учебник для техникумов / Г. С. Яковлев. – Л. : Судостроение, 1987. – 267 с.

---

© В. С. Буряк, Язид Аль Шайх

Надійшла до редколегії 14.11.13

Статтю рекомендує до друку член редколегії Вісника НУК

д-р техн. наук, проф. *В. М. Рябенський*

Статтю розміщено у Віснику НУК № 2, 2014