

11. Гоголь Э.В. Анализ существующих способов утилизации и переработки отходов полимеров / Э.В. Гоголь, И.Х. Мингазетдинов, Г.И. Гумерова, О.С. Егорова, С.А. Мальцева, И.Г. Григорьева, Ю.А. Тунакова // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – № 10. – Т. 16. – С. 163–168.
12. Місяць В.П. Розвиток наукових основ проектування обладнання для подрібнення відходів термопластичних і гумових матеріалів легкої промисловості : дис. ... доктора техн. наук : 05.05.10 / Місяць Володимир Петрович. – К., 2007. – 365 с.
13. Синюк О.М. Математична модель анізотропних властивостей полімерних матеріалів / О.М. Синюк // Вісник ХНУ. – 2015. – № 1. – С. 12–18.
14. Бартнев Г.М. Курс физики полимеров / Г.М. Бартнев, Ю.В. Зеленева. – Л. : Химия, 1976. – С. 273.
15. Кристенсен Р. Введение в механику композитов / Ричард М. Кристенсен. – М. : Мир, 1982. – 336 с.
16. Ландау Л.Д. Теоретическая физика : учеб. пособие : в 10 т. Т. VII. Теория упругости / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 248 с.
17. Блох В.И. Теория упругости / В.И. Блох. – Харьков : Издательство Харьковского университета, 1964. – 484 с.
18. Tsai S.W. Invariant properties of composite materials / S.W. Tsai, N.J. Pagano, J.C. Halpin // Composite Materials. – 1968. – P. 233–252.

Рецензія/Peer review : 11.11.2015 р.

Надрукована/Printed : 5.12.2015 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. Диха О.В.

УДК 681.5:004.8:004.94

Д.А. НАГОВСКИЙ  
Херсонская государственная морская академия

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ ЗАЩИТЫ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ НА СУДАХ

*В работе осуществлялся поиск решения проблем, возникающих при эксплуатации судовых автоматических регуляторов напряжения. В результате анализа принципов работы, моделей и реальных действующих судовых автоматических регуляторов напряжения предложено электронное устройство, позволяющее своевременно определять и локализовать неисправные судовые дизель-генераторы, сохраняя целостность судового электрооборудования.*

*Ключевые слова: судовой автоматический регулятор напряжения, судовой дизель-генератор, потребитель электроэнергии, система защиты.*

D.A. NAGOVSKIY  
Kherson State Marine Academy

### THE IMPROVEMENT OF MEANS OF AUTOMATION OF SHIP DIESEL-GENERATOR PROTECTION

*Abstract – This article describes a one of solution of such problem as corruption of ship electrical equipment because of untimely reaction of ship automatic voltage regulator. There was described a problem, review of reference and constructive proposal has been given. As result of overexcitement of generator, there is a big risk to corrupt an important ship electrical equipment because of large latency of ship automatic voltage regulator. Author offers to include in ship electrical power system an additional device, which will found a faulty generators and disable them. Author offers protection device with algorithm, which works faster, than automatic voltage regulator will do wrong correction of voltage because of faulty generator. As upgrade in future need to improve models of ship automatic voltage regulators and change rules, which describes time latency of electrical protection. It necessary to do, because needed electrical power is increased with time runs and technical evolution.*

*Keywords: ship automatic voltage regulator, overexcitement of generator, electrical equipment, faulty generator.*

**Введение.** Вопросы безопасности мореплавания являются важнейшими в области судоходства. Соответственно, сохранность электрооборудования, отвечающего за живучесть судна, играет немаловажную роль в процессе эксплуатации судов. Внедрение на суда автоматических регуляторов напряжений в большинстве случаев позволяет обеспечить защиту судовых потребителей электроэнергии, в том числе и ответственных, т.е. отвечающих за живучесть судна.

**Актуальность исследований.** Отказ автоматического регулятора напряжения на судне может иметь тяжкие последствия. Одним из таких последствий может стать полное обесточивание судна или выход из строя генераторных агрегатов и ответственных потребителей [1, 5].

Как показывает практика[4], отказы АРН не являются редкостью, поэтому с целью предотвращения выхода из строя навигационного, бытового и иного судового оборудования, возникает необходимость повышения степени защиты от повышенного напряжения и бросков токов в сети. Такие технические решения повысят надежность электроснабжения судна в целом и, таким образом, повысят показатели живучести судна.

В современной литературе [1] существуют множества моделей судовых АРН. Одна из них показана

на рис. 1.

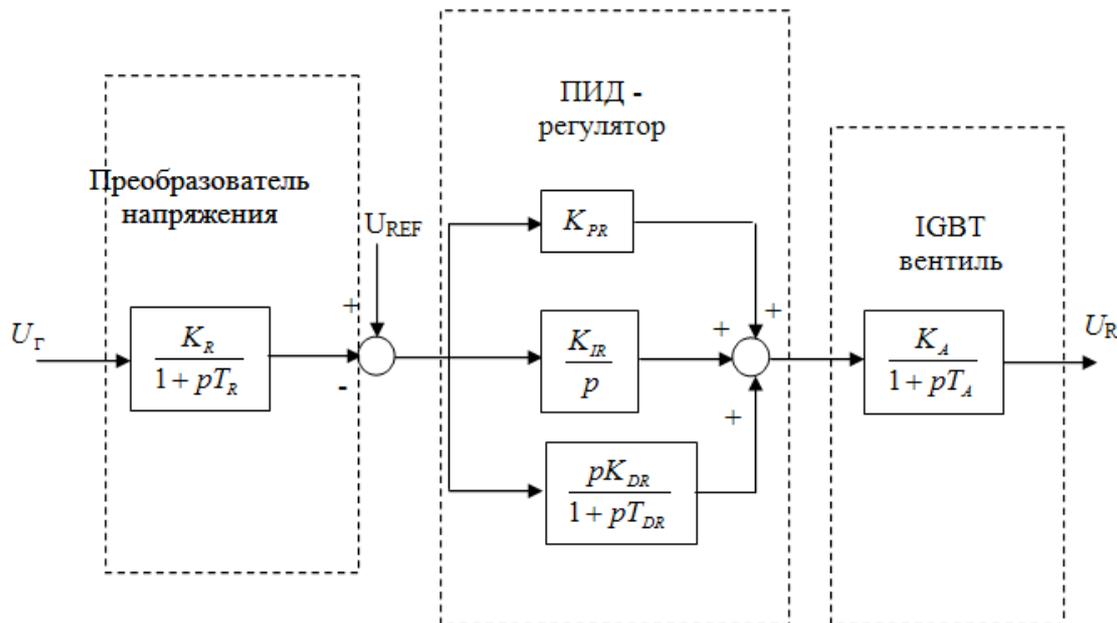


Рис. 1. Структурная модель АРН [1]

Как видно из рисунка 1, в модели присутствует множество постоянных времени, что увеличивает время реакции АРН, что, в свою очередь, может привести к выходу из строя электрооборудования судна.

**Постановка задачи.** Обеспечить дополнительную электрическую защиту АРН и судовых потребителей электроэнергии от повышенного напряжения и бросков тока в сети, с учетом количества работающих генераторов и режимов их работы.

**Результаты исследований.** Автоматический регулятор напряжения предназначен для управления током возбуждения без щеточных синхронных генераторов(БСГ)[1]. Исходное возбуждение поступает от трехфазного подвозбудителя (PMG). При этом управляющие цепи АРН отключаются от эффектов нелинейных нагрузок и уменьшается влияние частоты на напряжение генератора. Таким образом, PMG используется для лучшего возбуждения БСГ [1].

АРН измеряет напряжение генератора и управляет возбуждением для поддержания напряжения на заданном уровне, компенсируя изменение нагрузки, частоту вращения, температуру и cosφ генератора [1].

Измерение частоты цепи и частоты вращения вала генератора обеспечивает защиту от пониженной частоты системы возбуждения понижением выходного напряжения генератора пропорционально установленной частоте вращения.

Максимальное возбуждение ограничивается безопасным периодом отключения выходного устройства АРН. Это состояние сохраняется до полной остановки генератора.

АРН включает защиту от повышенного напряжения с отключением выходного устройства регулятора и возможности отключения генераторного автомата в случае различных неполадок при оптимальном возбуждении.

Принципиальная схема системы возбуждения показана на рис. 2.

Математическая модель АРН имеет вид [1]:

$$U_R = \frac{K_A}{1 + pT_A} \left( K_{PR} + \frac{K_{IR}}{p} + \frac{pK_{DR}}{1 + pT_{DR}} \right) \left( \frac{K_R}{1 + pT_R} \sqrt{u_d^2 + u_q^2} - u_{REF} \right), \quad (1)$$

- где  $U_R$  – выходное напряжение регулятора;  
 $K_A$  – коэффициент усиления напряжения;  
 $p$  – оператор дифференцирования;  
 $T_A$  – постоянная времени;  
 $K_{PR}, K_{IR}, K_{DR}$  – коэффициенты усиления пропорциональной, интегральной и дифференциальной части регулятора соответственно;  
 $K_R$  – коэффициент усиления преобразователя;  
 $T_R$  – постоянная времени преобразователя;  
 $U_{REF}$  – напряжение уставки.

Таким образом, наличие столь многих постоянных времени накладывает ограничение на быстродействие АРН и электрической защиты в целом.



Исходя из изложенных концепций, было разработано, установлено и протестировано устройство в виде дополнительной защиты, позволяющее реализовать предъявленные требования. Внешний вид показан на рисунке 3.



Рис. 3. Внешний вид дополнительной защиты от повышенного напряжения в судовой сети

Предложенный краткий алгоритм работы устройства состоит в следующем. Устройство защиты опрашивает по очереди генераторы и сравнивает текущее значение напряжения с заданным (напряжение на генераторе больше заданного напряжения оператором) и, если условия не удовлетворяют, подается световой и звуковой сигнал. В случае если напряжение не нормализуется более 500 мс или увеличится в промежутке этого времени на больше чем на 10% то происходит отключение генераторного автомата неисправного генератора с шин ГРЩ. После чего происходит повторный опрос на наличие напряжения на проблемном генераторе в размере выше заданного. В случае обнаружения одного происходит остановка дизель-генератора. При параллельной работе генераторов, если напряжение не удовлетворяет заданному, осуществляется процесс вывода из параллели средствами, предусмотренными при проектировании судовой электростанции. Это позволяет безошибочно определить проблемный генератор ввиду роста тока на таковом. Далее происходит отключение неработоспособного генератора от шин ГРЩ и, если напряжение на шинах ГРЩ остается выше заданного, отключается второй генератор. В случае дальнейшего наличия повышенного напряжения происходит остановка дизеля [4].

На рисунке 4 представлена структурная схема дополнительной защиты судовых дизель-генераторов [4]

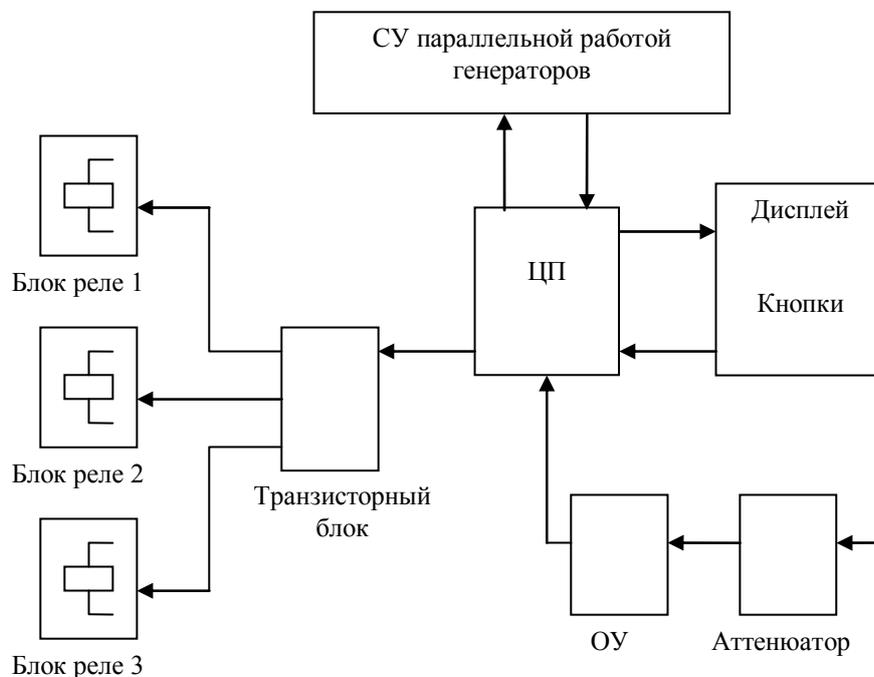


Рис. 4. Структурная схема усовершенствованной системы защиты БСГ

Здесь  $U_{in}$  – напряжение, входящее в устройство защиты;

ОУ – операционный усилитель;

ЦП – центральный процессор;

Аттенюатор – устройство для плавного, ступенчатого или фиксированного понижения



**Выводы.** В виду важности сохранности приборов, отвечающих за живучесть судна, целесообразно совершенствовать средства и системы защиты судовых генераторов, а так же судовых потребителей. При наличии современных электронных компонентов, возможно и необходимо использовать дополнительные меры защиты вышеуказанных объектов с уставками выше, чем этого требует регистр, если это не приведет к неправильной эксплуатации оборудования и не противоречит правилам технической эксплуатации.

### Литература

1. Баранов А.П. Моделирование судового электрооборудования и средств автоматизации : учебник для вузов / А. П. Баранов, М.М. Раимов. – СПб : Элмор, 1997. – 232 с.
2. Баранов В.Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы программы / Баранов В.Н. – М. : Додэка-XXI, 2004. – 288 с.
3. Водовозов А.М. Микроконтроллеры для систем автоматики : учебное пособие / Водовозов А.М. – Вологда : ВоГТУ, 2002. – 131 с.
4. Щербаков Ю.В. Устройство защиты от перенапряжения для судовых ДГ / Ю.В. Щербаков, Д.А. Наговський // Сучасні проблеми морського транспорту та безпека мореплавства : матеріали IV Всеукр. наук. конф., 20 листопада 2014 р. – Херсон : ХДМА, 2014. – С. 411–413.
5. Мелинский Г.А. Устойчивость энергосистем. Книга 1 [Электронный ресурс] / Г.А. Мелинский, Г.В. Меркурьев. – Режим доступа : [www.cpk-energy.ru/metod/u1/mm1.pdf](http://www.cpk-energy.ru/metod/u1/mm1.pdf)

Рецензія/Peer review : 6.11.2015 р.

Надрукована/Printed : 5.12.2015 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. Шарко О.В.

УДК 621.22

А.О. ТОВКАЧ, В.В. БОГАЧУК, Л.Г. КОЗЛОВ  
Вінницький національний технічний університет

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ГІДРОПРИВОДА З ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ РЕГУЛЯТОРОМ ПОДАЧІ НАСОСА

*Розглянута схема гідропривода, розроблена у Вінницькому національному технічному університеті. На стадії проектування статичні та динамічні характеристики можуть бути оцінені на основі досліджень робочих процесів в гідроприводі, виконаних із застосуванням математичних моделей. Математична модель гідропривода сформована в середовищі MATLAB Simulink та оброблена за допомогою чисельного методу Rosenbrock. Проведені імітаційні дослідження робочих процесів в гідроприводі. Моделювання перехідного процесу підтверджує роботоздатність розробленої схеми та алгоритму керування, а також дозволяє визначити статичні та динамічні характеристики гідропривода.*

*Ключові слова: гідропривод, мобільні робочі машини, математичні моделі.*

A.O. TOVKACH, V.V. BOGACHUK, L.G. KOZLOV  
Vinnitsia National Technical University

## CHARACTERISTICS OF THE HYDRAULIC DRIVE WITH ELECTROHYDRAULIC PUMP DELIVERY CONTROLLER

*Abstract – The hydraulic drive circuit, developed in Vinnitsia National Technical University, is considered. At the design stage static and dynamic characteristics can be estimated on the basis of investigation of hydraulic drive working processes, conducted with the application of mathematical models. Hydraulic drive mathematical model is elaborated in MATLAB Simulink environment and processed using Rosenbrock numerical method. Simulation study of the hydraulic drive working processes has been performed. Transient process simulation confirms operability of the developed circuit and of the control algorithm as well as makes it possible to determine static and dynamic characteristics of the hydraulic drive.*

*Keywords: hydraulic drive, mobile working machines, mathematical models.*

### Вступ

Останнім часом в мобільних робочих машинах різного призначення (екскаваторах, навантажувачах, тракторах) все ширше застосовуються гідроприводи з пропорційним електрогідрравлічним пропорційним керуванням [1–7]. Застосування гідроприводів з електрогідрравлічним пропорційним керуванням обумовлено:

- можливістю пропорційної та плавної зміни швидкості руху робочих органів;
- суттєвим покращенням динамічних характеристик;
- ефективним захистом механізмів мобільної машини від перевантажень;
- можливістю дистанційного керування гідроагрегатами із безпечної зони.

У Вінницькому національному технічному університеті розроблена схема гідропривода на основі насоса з електрогідрравлічним регулятором та контролером, що має аналогові входи і виходи. Схема гідропривода представлена на рис. 1.