

УДК:621.311:629.12

АВАРІЙНА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПАСАЖИРСЬКОГО СУДНА «EMPRESS»

Колебанов О. К., к.т.н., доцент кафедри експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики Херсонської державної морської академії, E-mail: kolebanovkak@mail.ru;

Чаусовский Г. О., к.т.н., доцент, старший науковий співробітник Запорізького національного університету, E-mail: znu@znu.edu.ua

У статті приведений аналіз роботи аварійного дизель-генератора пасажирського круїзного лайнера. Проведений розрахунок сумарної електричної потужності, необхідної для забезпечення роботи пропульсивної системи, аварійного освітлення з системою автоматики судна, насосів рульових пристроїв, устаткування аварійних насосів, яке може бути включене в разі аварійної ситуації або пожежі. Показано, що при включенні всього аварійного обладнання, необхідного для забезпечення безпеки, сумарне навантаження електрообладнання 502,5 кВА перевищує максимальну потужність аварійного дизель-генератора 450 кВА. Для забезпечення надійної роботи системи аварійного живлення і рушія пропонуються необхідні зміни.

Ключові слова: максимальна потужність аварійного дизель-генератора, пасажирський круїзний лайнер, сумарне навантаження електрообладнання, аварійна ситуація.

Вступ. Як і всі інші види транспортних засобів, мореплавство пов'язане з можливістю аварій, катастроф та ризиком для життя людини [1]. Можливий ризик для життя людини на морських транспортних засобах значно вищий, ніж на авіаційних та залізничних видах, але нижчий, ніж на автомобільних [2]. Аналіз публікацій [3, 4, 5], присвячених аваріям на морському транспорті, показує великий відсоток впливу «людського чинника» на розвиток аварійних ситуацій. Одним із основних чинників запобігання аварійній ситуації є безперебійна робота системи електропостачання судна. Добре відомо, що найголовнішим при створенні комплексної системи безперебійного електропостачання на судні є забезпечення надійного резервного електроживлення устаткування, що відповідає за управління і безпеку судна [6]. До такого устаткування відносяться системи навігації і зв'язку, пристрої аварійного освітлення, системи управління судном, пристрої контролю доступу і так далі [7, 8]. Це стосується абсолютно всіх типів суден. Проте деякі особливості морських систем безперебійного живлення часто визначаються типом судна.

Наприклад, для захисту устаткування на танкерах і суховантажах досить декілька ІБП, що відповідають за резервне живлення навігаційного устаткування, системи зв'язку й аварійного освітлення. Набагато складніші рішення по забезпеченню надійного і безперебійного електроживлення п на борту пасажирських круїзних лайнерів, оскільки тут необхідно думати не лише про безпеку, але і проймається розвагу пасажирів, завдяки яким існує бізнес і надходить велика частина прибутки. Джерела безперебійного електроживлення забезпечують гарантовану роботу багаточисельних комп'ютерів, серверів, аудіовізуального устаткування, внутрішнього кабельного телебачення і телефонії, устаткування казино, кінотеатрів, ресторанів, дискотек і магазинів.

У процесі поширення аварії при виникненні загрози загибелі пасажирського судна постає необхідність вжити заходів для швидкої евакуації пасажирів. Операція з евакуації вже сама по собі пов'язана з ризиком для життя людей, особливо в умовах штормової погоди. Найбільша небезпека виникає тоді, коли відмовляють пристрої, які підключені до електричної мережі. Втрата шансів на врятування може виникати внаслідок відключення від джерел електроенергії систем звукової сигналізації і сповіщення, аварійного освітлення й інших пристроїв.

Мета роботи. У зв'язку з тим, що в літературі [4, 5, 7] практично відсутні відомості про можливі аварійних дизель-генераторів пасажирських круїзних лайнерів забезпечити електроенергією найбільш відповідальні системи при знеструмленні головного розподільного щита (ГРЩ), метою роботи є розрахунок сумарної потужності, необхідною

для підтримки роботи пропульсивної системи, аварійного освітлення з системою автоматики судна, насосів рульових пристроїв, обладнання аварійних насосів яке може бути увімкнено в разі аварійної ситуації або пожежі.

Виклад основного матеріалу. Розрахунок сумарної потужності, необхідної для забезпечення електроенергією при знеструмленні ГРЩ, проведений на прикладі пасажирського судна «Empress». Пасажирське судно «Empress» було побудоване на французькій верфі 1988 року. Судно призначено для регулярних пасажирських перевезень по всьому світу.

Основні технічні характеристики судна: довжина – 210,8 метрів; ширина – 30,7 м; осадка – 7,3 м; потужність головних машин – 16400 кВт; максимальна швидкість – 19,3 вузла; кількість палуб – 12; дедвейт – 48000 т; пасажиромісткість – 1817; екіпаж – 600.

До складу електроенергетичної станції входять чотири середньооборотові восьмициліндрові дизель-генератори, потужністю по 3100 кВт, напруга 3·6600В 720 об/хв кожен, типу «PA125G115-90» привідний дизель «vartsila 8R32E» та аварійний дизель-генератор потужністю 450 кВа, напруга 3·440В, типу «AA49L9». Генератори виробляють напругу 6600 В, що через силові трансформатори знижується до 440, 220, 110 В. Всі основні споживачі у машині використовують напругу у 440, 220 в готелі 220, 110 В.

Система моніторингу основних параметрів машини побудована на системі Kongsberg. Система моніторингу та керування Kongsberg приймає цифрові сигнали 1/0 – відкритий чи закритий контакт. Аналогові сигнали 4...20ма постійного струму, також може працювати з терморезисторами рт 100 рт 1000.

При знеструмленні головного розподільного щита (ГРЩ) живлення протипожежної системи, рульової системи, водо- та вогнєнепроникних дверей, навігаційного обладнання, автоматики здійснюється від аварійного розподільного щита (АРЩ) за допомогою перемикача від аварійного дизель-генератора (АДГ). Найбільш важливі системи мають власне безперебійне живлення, яке має забезпечити їх електроенергією не менше ніж на півгодини.

На судні електрична система зроблена таким чином, що у випадку виходу з ладу – зупинки основних генераторів 6,6кВольт автоматично через 7 секунд запускається аварійний генератор для живлення найбільш важливих споживачів.

У такому випадку через зупинку паливних насосів навіть короткочасна відсутність живлення призведе до зупинки пропульсивної системи.

Для підтримки роботи пропульсивної системи необхідне живлення для наступного обладнання: насосів для циркуляції прісної води, охолодження забортною водою, змазки редуктора гвинта, змазки підшипників гвинта, живлення важкого палива, підсилення важкого палива; гідравлічний привід зміни кроку гвита.

Розрахунки максимальної електричної потужності обладнання [9, 10], підтримки роботи пропульсивної системи і максимального струму вироблені з урахуванням коефіцієнта корисної дії (ККД) і коефіцієнта потужності ($\cos \varphi$) [9, 10] і зведені в табл. 1.

Сумарна максимальна електрична потужність обладнання підтримки роботи пропульсивної системи 237.9 кВт. сумарний максимальний струм 379,6А.

У випадку знеструмлення від аварійного генератора автоматично через джерело безперебійного живлення (ДБЖ) підключені до живлення: вся автоматика судна, системи керування, аварійне освітлення, навігаційне обладнання, стартери рульових пристроїв, протипожежна сигналізація, система зв'язку, водонепроникні двері, релейні схеми головних машин та генераторів системи управління автоматичними протипожежними системами.

На момент, поки аварійний генератор ще не запусився і не під'єднався до шин аварійного розподільного щита, все це обладнання живиться від батарей ДБЖ.

У випадку знеструмлення має бути увімкнено аварійне освітлення, потужність 49,5 кВт. Електрична потужність всіх систем автоматики судна, перелічених вище, приблизно 40 кВт.

Тобто, відразу після підключення, навантаження аварійного генератора з системою автоматики судна й аварійного освітлення становить:

$$40 \text{ кВт} + 49,5 \text{ кВт} = 89,5 \text{ кВт}.$$

У випадку з автоматикою та освітленням можна вважати коефіцієнт потужності дорівнює 1, тому струм 117,5 А. Як вказувалось вище, при старті та підключенні аварійного дизель-генератора навантаження буде складати 89,5 кВт та 117,5 А.

Якщо підтримувати пропульсивну систему, то необхідно додати максимум 237,9 кВт 379,6 А.

Таблиця 1 – Результати розрахунку потужностей та струмів підтримки роботи пропульсивної системи

Обладнання	Потужність механічна, кВт	Кількість	ККД	Потужність електрична, кВт	cos	Потужність електрична, кВА	Струм, А
Насос для циркуляції прісної води	25,0	1	0,89	28,1	0,84	33,4	44,7
Насос охолодження забортною водою	72,0	1	0,90	80,0	0,9	88,9	118,8
Гідравлічний привід зміни кроку гвінта	12,0	2	0,88	27,3	0,82	33,3	44,5
Насос змазки редуктора гвінта	24,0	2	0,77	62,3	0,85	73,3	98,0
Насос змазки підшипників гвінта	9,2	2	0,77	23,9	0,72	33,2	44,4
Насос живлення важкого палива	1,7	1	0,79	2,2	0,83	2,6	3,5
Насос підсилення важкого палива	1,8	1	0,81	2,2	0,84	2,6	3,5
Насос живлення важкого палива	9,2	1	0,77	11,9	0,72	16,6	22,2

Максимальне можливе навантаження на аварійний генератор з пропульсивною системою, з системою автоматики судна і аварійного освітлення буде складати:

$$P_{\max} = 89,5 \text{ кВт} + 237,9 \text{ кВт} = 327,4 \text{ кВт},$$

$$I_{\max} = 117,5 \text{ А} + 379,6 \text{ А} = 497,1 \text{ А}.$$

Але це навантаження при роботі всіх насосів на максимальній потужності на практиці навантаження на насоси менше максимального для приблизного розрахунку робочої загрузки аварійного генератора $P_{\text{роб}}$ візьмемо коефіцієнт навантаження $\cos \varphi = 0,8$.

Отже, розраховуємо робоче навантаження при роботі всіх насосів з пропульсивною системою:

$$P_{\text{роб}} = 89,5 \text{ кВт} + 237,9 \text{ кВт} \cdot 0,8 = 279,8 \text{ кВт}.$$

Робочий струм $I_{роб}$ можна приблизно розрахувати за формулою:

$$I_{роб} = 117,5 \text{ A} + 379,6 \text{ A} \cdot 0,8 = 421,2 \text{ A}.$$

Також для маневрування необхідно запустити насоси рульових пристроїв. Результати розрахунку потужності та струму насоса рульових пристроїв наведені далі:

- потужність механічна 28,0 кВт;
- кількість – 2;
- ККД – 0,9;
- потужність електрична 64,4 кВт;
- $\cos \varphi = 0,87$;
- потужність електрична 74 кВА;
- струм 98,8 А

З насосами рульових пристроїв навантаження:

$$P_{мах} = 327,4 \text{ кВт} + 64,4 \text{ кВт} = 391,8 \text{ кВт};$$

$$I_{мах} = 497,1 \text{ A} + 98,9 \text{ A} = 596 \text{ A}.$$

Робоче навантаження при роботі всіх насосів з пропульсивною системою:

$$P_{роб} = 279,8 \text{ кВт} + 64,4 \text{ кВт} \cdot 0,8 = 331,3 \text{ кВт};$$

$$I_{роб} = 421,2 \text{ A} + 98,9 \text{ A} \cdot 0,8 = 520,1 \text{ A}.$$

Таблиця 2 – Результати розрахунку потужностей та струмів обладнання аварійних насосів

Обладнання	Потужність механічна, кВт	кількість	ККД	Потужність електрична, кВт	cos	Потужність електрична, кВА	Струм, А
Аварійний пожежний насос	63,0	1	0,9	71,6	0,89	80,4	107,5
Аварійний компресор пускового повітря	25,0	1	0,9	29,1	0,86	33,8	45,2
Спрінклерний насос морської води	44,0	1	0,9	50,6	0,85	59,5	79,5
Аварійний насос баластної системи	25,0	1	0,86	29,1	0,85	34,2	45,7
Аварійний насос трюма	16,0	1	0,85	18,8	0,76	24,8	33,
Аварійний насос стабілізатора	6,5	2	0,85	15,3	0,77	19,9	26,6

Також до АРЩ підключене наступне обладнання, яке може бути увімкнено в разі аварійної ситуації або пожежі.

В табл. 2 показаний розрахунок потужностей та струмів обладнання аварійних насосів. Сумарна максимальна електрична потужність обладнання аварійних насосів 214 кВт. Сумарний максимальний струм обладнання 337,7А.

$$P_{роб} = 214 \text{ кВт} \cdot 0,8 = 171,2 \text{ кВт};$$

$$I_{роб} = 337,7 \text{ A} \cdot 0,8 = 269,6 \text{ A}.$$

Якщо увімкнути все аварійне обладнання одночасно, то навантаження на АГ:

$$P_{мах} = 391,8 \text{ кВт} + 214 \text{ кВт} = 605,8 \text{ кВт};$$

$$I_{\max} = 596A + 337A = 933A;$$

$$P_{\text{роб}} = 331,3 \text{ кВт} + 171,2 \text{ кВт} = 502,5 \text{ кВт};$$

$$I_{\text{роб}} = 520,1A + 269,6A = 789,7 A.$$

Зведемо розраховані потужності аварійного обладнання в табл. 3.

Таблиця 3 – Результати розрахунку потужності аварійного обладнання

Обладнання	Максимальне навантаження, кВт	Робоче навантаження, кВт	Максимальний струм, А	Робочий струм, А	Максимальне сумарне навантаження, кВт	Робоче сумарне навантаження, кВт	Максимальний сумарний струм, А	Робочий сумарний струм, А
Автоматика Аварійне освітлення	89,5	89,5	117,5	117,5	89,5	89,5	117,5	117,5
Пропульсивна система	237,5	190,3	379,6	303,7	327,4	279,8	497,1	421,2
Підрулюючий пристрій	64,4	51,5	98,9	79,1	391,8	331,3	596,0	520,1
Інше аварійне обладнання	214,0	171,2	337,7	269,6	605,8	502,5	933,0	789,7

Параметри автоматичного вимикача АГ:

- максимальний струм 1000А
- максимальний струм кабеля 772А;
- максимальна потужність аварійного дизель-генератора 450 кВт.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. При увімкненні усього аварійного обладнання сумарне навантаження 502,5 кВА перевищує максимальну потужність аварійного дизель-генератора 450 кВА. Для забезпечення надійної роботи системи аварійного живлення та двигуна необхідні наступні зміни:

1. Зробити спеціальний режим маневрування автоматичній системі моніторингу/керування Kongsberg, в якому після знеструмлення усе обладнання, необхідне для забезпечення пропульсивної системи буде вмикатися автоматично після появи напруги на шинах аварійного-розподільного щита у необхідній послідовності та з необхідними затримками часу.

2. Зробити список обладнання з меншим пріоритетом яке може автоматично вимикатися у разі перевантаження аварійного дизель-генератора.

3. Зробити спеціальну сторінку в Kongsberg, в якій оператор буде бачити обладнання, що живиться від аварійного розподільного щита навантаження, та те обладнання яке ще він може увімкнути.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дмитриев В. И. Обеспечение безопасности мореплавания : учебное пособие для вузов водного транспорта / В. И. Дмитриев. – М. : ИКЦ Академкнига, 2005. – 374 с.
2. Брусенцов В. Г. Надёжность железнодорожных операторов как фактор безопасности движения // Брусенцов В. Г., Ворожбян М. И., Брусенцов О. В., Бугайченко И. И., Гончаров А. В. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті – Харків, 2009. – № 2. – С. 68–71.
3. Григорьев Н. А. Привлечь, обучить, удержать. Человеческий фактор: Проблемы морского страхования / Н. А. Григорьев // Морское страхование. – 2012. – № 4(09). – С.68 – 75.
4. Карбовец Н. В. Прогнозирование вероятности возникновения критической ситуации в энергетической системе на примере швартуемого судна /

Н. В. Карбованец // Сборник научных трудов НГМА. Выпуск 9. – Новороссийск : РИО НГМА, 2004. – С. 71–77.

5. Mc George H.D. *Marine electrical equipment and practice* / H .D. Mc George. – Butterworth–Heinemann, Oxford, 2004. – 153 p.

6. Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления : учебное пособие в Правилах Регистра и технической эксплуатации к разделам А–III/1, А–III/2 STCW–CODE 78/95 / [А. Н. Пипченко, В. В. Пономаренко, Ю. И. Теплов, В.А. Шевченко]. – Одесса, 2012. – 487 с.

7. Лейкин В. С. Судовые электрические станции и сети / В. С. Лейкин. – М. : Транспорт, 1982. – 256 с.

8. Роджеро Н. И. Справочник судового электромеханика и электрика / Н. И. Роджеро. – М. : Транспорт, 1986. – 319 с.

9. Баранов А. П. Автоматическое управление судовыми электроэнергетическими установками / А. П. Баранов. – М. : Транспорт, 1981. – 255 с.

10. Михайлов В. Л. Автоматизированные электроэнергетические системы судов / В. Л. Михайлов. – Л. : Судостроение, 1977. – 508 с.

REFERENCES

1. Dmitriev V. I. (2005). *Obespechenie bezopasnosti moreplavaniya: uchebnoe posobie dlya vuzov vodnogo transporta*. Moskva: IKTs Akademkniga.

2. Brusentsov V.G., Vorozhbiyan M.I., Brusentsov O.V. Bugajchenko I.I., Goncharov A.V. (2009). Nadyozhnost zheleznodorozhnyh operatorov kak faktor bezopasnosti dvizheniya. *Informatsijno–keruyuchi sistemi na zaliznichnomu transporti – 2*. – Harkov, 68 – 71.

3. Grigor’ev N. A.(2012). Privlech, obuchit, uderzhat. Chelovecheskij faktor: *Problemy morskogo strahovaniya .Morskoe strahovanie*, 68 – 75.

4. Karbovets N. V. (2004).*Prгноzirovanie veroyatnosti vozniknoveniya kriticheskoy situatsii v energeticheskoy sisteme na primere shvartuyushegosya sudna*. Sbornik nauchnyh trudov NGMA. Vypusk 9. Novorossiysk: RIO NGMA, 71– 77.

5. Mc George H.D. (2004). *Marine electrical equipment and practice*. Butterworth–Heinemann – Oxford.

6. Pipchenko A.N., Ponomarenko V.V., Teplov Yu.I., Shevchenko V.A. (2012). *Elektrooborudovanie, elektronnyaya apparatura i sistemy upravleniya : uchebnoe posobie v Pravilah Registra i tehnicheskoy ekspluatatsii k razdelam A–III/1, A–III/2 STCW–CODE 78/95*. Odessa.

7. Lejkin V. S. (1982). *Sudovye elektricheskie stantsii i seti*. Moskva: Transport.

8. Rodzhero N. I. (1986). *Spravochnik sudovogo elektromehnika i elektrika / 2–e izd., pererab. i dop.* M: Transport.

9. Baranov A.P. (1981). *Avtomaticheskoe upravlenie sudovymi elektroenergeticheskimi ustanovkami*. M: Transport.

10. Mihajlov V.L. (1977). *Avtomatizirovannyye elektroenergeticheskie sistemy sudov*. Leningrad: Sudostroenie.

Колебанов О.К., Чаусовский Г.О. АВАРИЙНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКОГО СУДНА «EMPRESS»

В статье приведен анализ работы аварийного дизель-генератора пассажирского круизного лайнера. Проведен расчет суммарной электрической мощности, необходимой для обеспечения работы пропульсивной системы, аварийного освещения с системой автоматизации судна, насосов рулевых устройств, оборудования аварийных насосов, которое может быть включено в случае аварийной ситуации или пожара. Показано, что при включении всего аварийного оборудования, необходимого для обеспечения безопасности, суммарная нагрузка электрооборудования 502.5 кВА превышает максимальную мощность аварийного дизель-генератора 450 кВА. Для обеспечения надежной работы системы аварийного питания и движителя предлагаются необходимые изменения.

Ключевые слова: максимальная мощность аварийного дизель-генератора, пассажирский круизный лайнер, суммарная нагрузка электрооборудования, аварийная ситуация.

Kolebanov O. K., Chausovskiy G. O. EMERGENCY SYSTEM POWER SUPPLY OF PASAZHIRSKOGO OF SHIP «EMPRESS»

In the article the analysis of work of emergency is resulted diesel-generator of pasazhirskogo of kruiznogo liner. The calculation of total electric power of necessary for providing work of the propul'sivnoy system, emergency illumination with the system of automation of ship, pumps of steerers, equipment of emergency pumps, which can be included in the case of emergency situation or fire, is conducted. It is rotined that at including of all emergency equipment, necessary for providing of safety, the total loading of electrical equipment of 502.5 kVA exceeds maximal power emergency diesel of generatora 450 kVA. For providing of reliable work of the system of emergency feed and mover necessary changes are offered.

Keywords: maximal power of emergency is a diesel-generator, pasazhirskiy kruiznyy liner, total loading of electrical equipment, emergency situation.

© Колебанов О. К., Чаусовський Г. О.

Статтю прийнято
до редакції 05.07.15