

*А. М. Филипов*

## АЛГОРИТМ КОМПОНОВКИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ БЕЗЭКИПАЖНОГО НАДВОДНОГО АППАРАТА

Рассматривается алгоритм компоновки электрооборудования и кабельных трасс для безэкипажного надводного аппарата. Предлагается методика размещения электрооборудования с учетом кабельных трасс и определения оптимального порядка расположения приемников электрической энергии. Математическое обеспечение методики базируется на аппарате теории графов. Сущность методики заключается в определении связи между приборами (т. е. связаны ли они электрически) и расчете площади ее сечения в качестве первого критерия при выборе оборудования. Введен дополнительный критерий – ограничение по длине кабеля. Для компоновки электрооборудования предлагается собрать и внести в таблицу все данные по приемникам электроэнергии и кабельным связям между ними и рассчитать площадь сечения кабельных трасс для каждого прибора. Сечение трассы определяет порядок расстановки приборов: первым устанавливается прибор с наибольшим сечением кабельной трассы, последним – электрооборудование с наименьшим сечением. Подчеркивается, что при расстановке приборов необходимо учитывать ограничение по длине кабеля. Предложенная методика проста в применении и не требует дополнительных затрат для внедрения. С целью усовершенствования методики планируется создание специализированного программного обеспечения для автоматического построения таблицы данных.

**Ключевые слова:** компоновка электрооборудования, оптимальное размещение, безэкипажный надводный аппарат, методика проектирования.

### **Введение**

С начала XX в. были предприняты разработки радиоуправляемых катеров, которые явились предшественниками современных безэкипажных средств и доказали свое право на существование. В настоящее время активно ведутся работы по их модернизации. Безэкипажные надводные аппараты (БНА) позволяют выполнять огневые задачи, задачи патрулирования, поиска мин и подводных лодок [1, 2]. Преимуществом БНА является возможность их работы в сложных и опасных условиях без риска для человека.

Безэкипажные надводные аппараты проектируются на основе алгоритмов и методик, применяемых в судостроении. Одним из важных этапов проектирования является размещение электрооборудования, от оптимальной расстановки которого зависят не только надежность работы катера, но и затраты на закупку кабельных изделий и техническое сопровождение. Длина кабелей напрямую зависит от расположения потребителей электроэнергии. При неудачном расположении приборов расход кабелей увеличивается, что ведет к повышению стоимости заказа. Кроме того, ошибки в размещении приемников электроэнергии приводят к дополнительным затратам на их устранение. Для решения задач оптимального расположения приборов и сокращения расходов при проектировании БНА предлагается алгоритм компоновки электрооборудования.

### **Научная основа в разработке алгоритма**

Развитие современных систем проектирования на персональных компьютерах значительно упрощает жизнь инженера. Если раньше приходилось строить натурные макеты помещения, теперь с этой задачей справляются программы трехмерного моделирования. Однако такие средства автоматизированного проектирования не решают задачи оптимального расположения электрооборудования и кабельных трасс. Инженеру приходится прорабатывать множество вариантов размещения, что увеличивает время проектирования, но не избавляет от ошибок.

Одним из средств решения данной проблемы может выступать специальный алгоритм, благодаря которому проектант будет исполнять работу более качественно. Алгоритм должен быть понятен для исполнителя и научно обоснован.

Мы предлагаем алгоритм, в основе которого лежит методика, разработанная в [3]. Методика основана на аппарате теории графов.

Граф представляет собой пару конечных множеств: множество точек и множество линий, соединяющих некоторые пары точек. Точки называют вершинами (узлами) графа, а линии –

ребрами графа [4]. На рис. 1, *a* изображен фрагмент схемы электроэнергетической системы с генератором (*G*), главным распределительным щитом (ГРЩ) и приемниками электрической энергии (П1, П2, П3). Граф *E* на рис. 1, *б* соответствует фрагменту схемы.

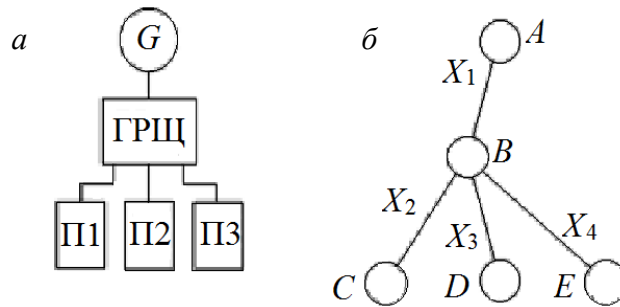


Рис. 1. Фрагмент схемы электроэнергетической системы (*a*); граф *E* (*б*)

Граф можно представить различными способами, например, с помощью таблицы смежности. Для графа *E* на рис. 1, *б* таблица смежности (табл. 1) будет иметь следующий вид:

Таблица 1

Смежности графа *E*

	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
<i>A</i>	0	1	0	0	0
<i>B</i>	1	0	1	1	1
<i>C</i>	0	1	0	0	0
<i>D</i>	0	1	0	0	0
<i>E</i>	0	1	0	0	0

По табл. 1 мы можем определить, какие вершины графа (электрооборудование) связаны между собой. Параметры таблицы при необходимости можно менять (например, количество кабелей, сечение кабельной трассы и т. п.).

### Разработка и апробация алгоритма

При составлении матрицы смежности автор работы [3] выбирает критерий  $C_i$  – критерий количества связей между приборами. В разрабатываемом нами алгоритме мы будем применять не количество связей между приборами, а суммарную площадь кабелей (площадь кабельной трассы) между приборами  $S$ , которая равна сумме квадрата диаметров всех кабелей в данной трассе:

$$S = \sum_{i=1}^n D^2 \cdot i,$$

где  $D$  – диаметр кабеля.

Выбор критерия объясняется тем, что между приборами может быть 4 тонких кабеля сечением  $S_1$ , а между другими приборами – 2 толстых кабеля с  $S_2$ , причем  $S_2 > S_1$ . Исходя из опыта проектирования, предпочтительнее уменьшать длину кабельных трасс большего сечения.

Введем еще один критерий – ограничение длины кабеля по длине  $L$ .

Работу алгоритма проиллюстрируем на следующем примере.

Перед началом размещения электрооборудования для проектируемого помещения определимся с электрическими схемами и входящими в них элементами (электрооборудованием).

**Шаг 1.** Собираем все схемы для выбранного помещения и отмечаем узлы – проходы кабелей в переборках корпуса (рис. 2). Следует отметить, что часть электрооборудования катера уже расположена на штатных местах, поэтому такое электрооборудование следует заносить в таблицу аналогично узлам.

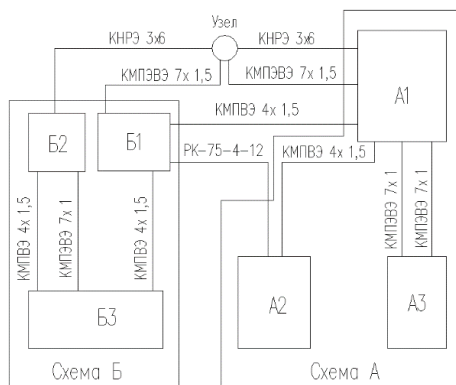


Рис. 2. Фрагмент двух схем с общим узлом

Шаг 2. Строим таблицу (табл. 2) смежности по формуле

$$R = \|r_{ij}\|_{n \times n},$$

где  $n$  – число вершин (количество приборов и узлов);  $r_{ij}$  – значение элемента, равное числу ребер из  $i$ -й вершины графа в  $j$ -ю вершину. В нашем случае значение  $r_{ij}$  учитывает связи между элементами схемы (приборами) на рис. 2. Параметры этих связей – площадь сечения трассы  $S$  и ограничение по длине кабеля  $L$  (табл. 2, в скобках). Также в таблицу смежности необходимо внести узлы, соединяющие помещения между собой (судовые кабельные коробки, сальники или вырезы в переборке между помещениями). В таблице буквой У обозначен узел; А1, ..., Б3 – названия приборов (рис. 2); единица измерения – см<sup>2</sup>, в скобках – м.

Таблица 2

Смежности схем

	У	А1	А2	А3	Б1	Б2	Б3	S
У	–	7,30	0	0	2,89	4,41	0	14,60
А1	7,30	–	1,44	4,50	1,44	0	0	14,68
А2	0	1,44 (2)	–	0	0,64	0	0	2,08
А3	0	4,50	0	–	0	0	0	4,5
Б1	2,89	1,44	0,64	0	–	0	1,44	6,41
Б2	4,41	0	0	0	0	–	4,21	8,62
Б3	0	0	0	0	1,44	4,21	–	5,65

Шаг 3. Выбираем приборы, соединенные между собой кабелем с ограничением по длине  $L$  (в нашем случае А1 и А2), и устанавливаем их. Приоритетность установки прибора определяется критерием  $S$ , следовательно, первым устанавливаем прибор А1. Следующим, с учетом длины кабеля, рядом с прибором А1 размещаем прибор А2 (рис. 3). Отметим, что все оборудование размещается с учетом корпусных конструкций, требований к размещению данного прибора и с учетом другого судового оборудования (системы трубопроводов, вентиляторов и пр.).

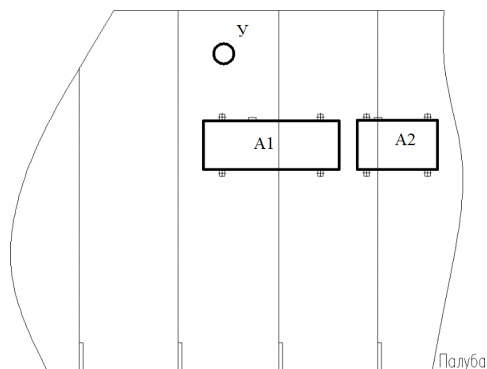


Рис. 3. Установка первых приборов

Шаг 4. Из оставшихся приборов наибольшее значение  $S$  имеет Б2 – устанавливаем его, принимая во внимание (по данным таблицы), что его необходимо разместить рядом с узлом У (рис. 4).

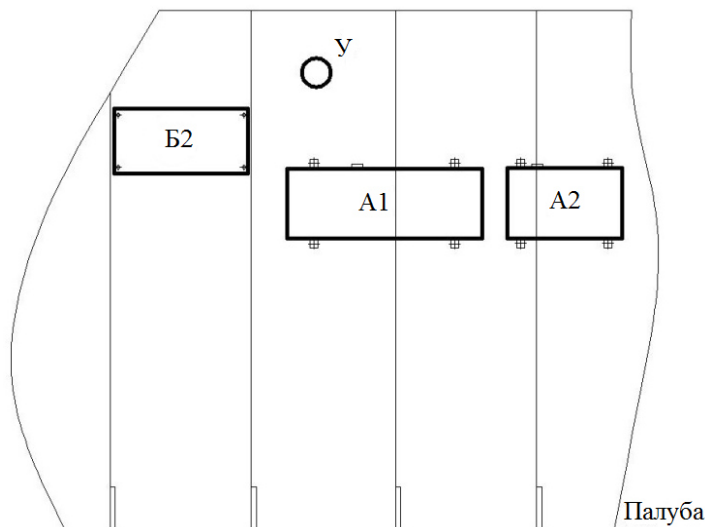


Рис. 4. Дальнейшая установка оборудования (шаг 4)

Шаг 5. Следующим размещаем прибор Б1. Согласно данным таблицы, лучше разместить его рядом с узлом У или с прибором А1. Прибор Б3 размещаем рядом с прибором Б2, а прибор А3 с прибором А1 (рис. 5).

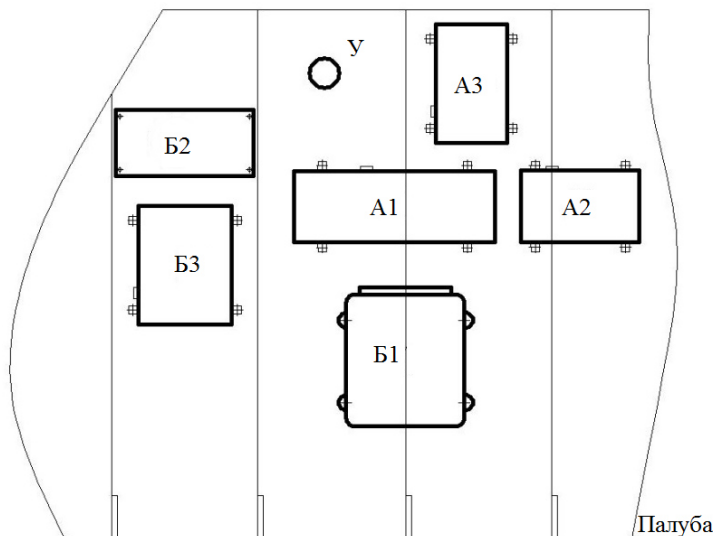


Рис. 5. Размещенные приборы на переборке

Шаг 6. Так как установка электрооборудования непосредственно связана с прокладкой кабелей, приступаем к разводке кабелей. В первую очередь соединяем приборы, связанные с узлами или со штатно расположенным электрооборудованием. Подсоединяем сначала прибор, находящийся дальше всех от узла. Затем поочередно соединяем приборы по мере приближения их к узлу. Последним размещается прибор с наименьшим расстоянием до узла. При прокладке кабельных трасс по возможности пользуемся уже проложенными кабельными трассами. Кроме того, принимаем во внимание матрицу смежности, т. к. по ней легко определить, какие приборы соединены друг с другом (рис. 6).

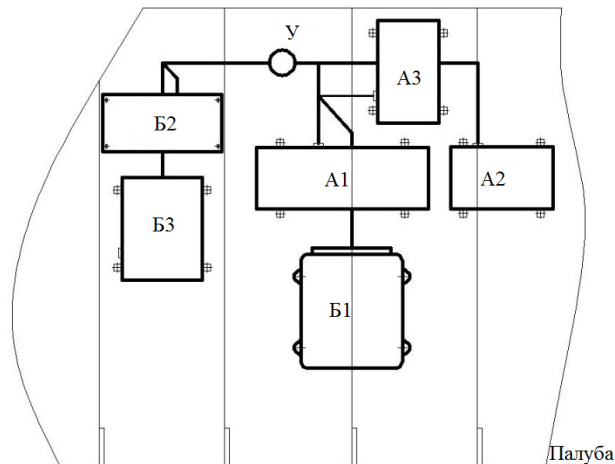


Рис. 6. Прокладка кабелей

Дальнейшие действия сводятся к выбору арматуры крепления электрооборудования и кабельных трасс, уточнению габаритов кабельных трасс и радиусов изгибов кабелей.

После уточнения расположения приборов и кабельных трасс размещение электрооборудования и кабельных трасс окончательно утверждается и проектант переходит к оформлению чертежа.

Для экспериментального подтверждения предложенной методики были взяты два помещения существующего проекта разработки АО «Зеленодольское проектно-конструкторское бюро (ПКБ)». Электрооборудование и кабельные связи представлены на рис. 7.

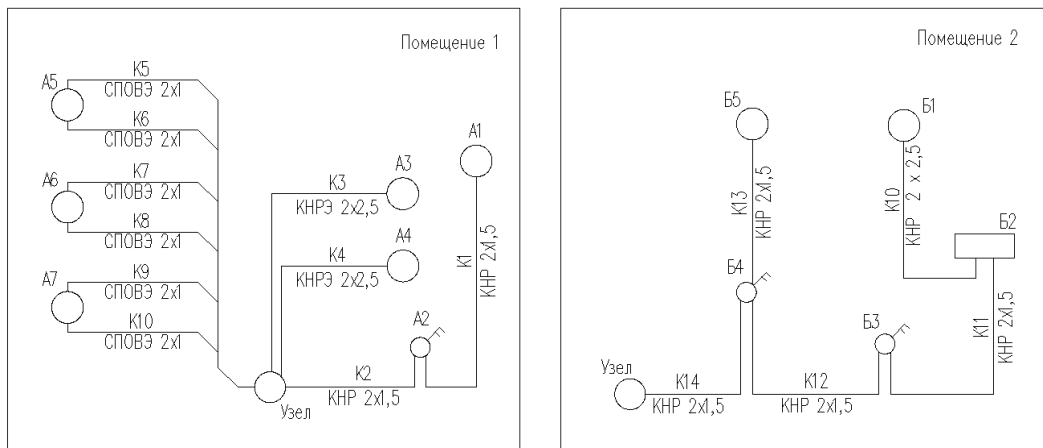


Рис. 7. Электрооборудование и кабельные связи экспериментального проекта

По ранее разработанным чертежам помещения 1 суммарная длина кабеля равна 2 610 мм. После компоновки электрооборудования с помощью предлагаемой методики суммарная длина составила 2 280 мм. Для помещения 2 суммарная длина кабеля по проекту 6 500 мм, а с использованием методики – 5 710 мм.

### Выводы

Предложенный алгоритм размещения электрооборудования позволяет уменьшить длину кабелей, что приведет к сокращению расходов на кабельные изделия. Кроме того, уменьшится и количество арматуры крепления для кабелей. Однако данная методика больше подходит для малонасыщенных отсеков. При большой концентрации электрического оборудования предложенную методику применять сложнее из-за увеличения таблицы смежности. Для решения этой проблемы планируется усовершенствование методики путем введения дополнительных критериев и написание специализированного программного обеспечения под средства автоматического проектирования, применяемые в АО «Зеленодольское ПКБ».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гайкович А. И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов. СПб.: НИЦ МОРИНТЕХ, 2014. Т. 1. 819 с.
2. Илларионов Г. Ю., Сиденко К. С., Бочаров Л. Ю. Угроза из глубины: XXI век. Хабаровск: Хабаровская краевая типография, 2011. 304 с.
3. Федоров Е. Ю. Синтез системы распределения электрической энергии грузового автомобиля: автореферат дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2014. 21 с.
4. Спирина М. С. Дискретная математика: учебник. М.: «Академия», 2010. 368 с.

Статья поступила в редакцию 20.09.2016

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Филипов Алексей Михайлович** – Республика Татарстан, 422550, Зеленогольск; Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ; аспирант кафедры электрооборудования; a-filipov@mail.ru.



*A. M. Filipov*

THE ALGORITHM OF THE ELECTRIC EQUIPMENT CONFIGURATION  
OF UNMANNED SURFACE DEVICE

**Abstract.** The algorithm of the electric equipment configuration and cable routes for the unmanned surface device is considered. The method of placing electrical equipment taking into account the cable routes and determining the optimal the order of the electric energy receivers is offered. The Software of the methodology is based on the unit of graph theory. The essence of the method is to determine the connection between the devices (i.e., whether they are connected electrically), and to calculate the area of its cross-section as the first criterion in choosing the equipment. The additional criterion – the restriction on the length of the cable has been introduced. For the electric equipment configuration all data on receivers of the electric power and cable connections between them are proposed to collect and add to the table and calculate the cross-sectional area cable routes for each device. The cross section of the route determines the order of arrangement of the instruments: the first device with the largest cross section of the cable route is set; the last one is the electric equipment with the lowest cross section. It is emphasized that the limitation on the length of the cable must take into account in the placement of devices. The proposed method is easy to use and does not require additional expenditures to implement. In order to improve methodology it is planned to create specialized software for the automatic construction of a data table.

**Key words:** electric equipment configuration, optimum placing, unmanned surface device, designing technique.

REFERENCES

1. Gaikovich A. I. *Teoriia proektirovaniia vodoizmeshchayushchikh korablei i sudov* [Theory of designing of displacement vessels]. Saint-Petersburg, Izd-vo NITs MORINTEKh, 2014. Vol. 1. 819 p.
2. Illarionov G. Iu., Sidenko K. S., Bocharov L. Iu. *Ugroza iz glubiny: XXI vek* [The threat from the depths: XXI century]. Khabarovsk, Khabarovskaiia kraevaia tipografiia, 2011. 304 p.

3. Fedorov E. Iu. *Sintez sistemy raspredeleniia elektricheskoi energii gruzovogo avtomobilia. Avtoreferat dis. kand. tekhn. nauk* [Synthesis of the distribution system of electric power of the truck]. Abstract of the thesis of the candidate of technical sciences. Kazan, 2014. 21 p.

4. Spirina M. S. *Diskretnaia matematika: uchebnik* [Discrete mathematics: a textbook]. Moscow, «Akademiia» Publ., 2010. 368 p.

The article submitted to the editors 20.09.2016

### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Filipov Alexey Michailovich** – Republic of Tatarstan, 422550, Zelenodolsk; Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI; Postgraduate Student of the Department of Electric Equipment; a-filipov@mail.ru.

