

Баёв А.С., академик

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

## РЕФЕРАТ

УДК 629.12

UDC 629.12

**Ключевые слова:** *искусственный интеллект, модель оптимизации работы СЭУ.*

**Key words:** *artificial intellect, model of optimization of work SPI.*

**Баёв А.С.** Интеллектуальная технология оптимизации работы судовой энергетической установки.

**Bayov A.S.** Intellectual technology of optimization of work of power installation of a ship.

### Аннотация

Приведена модель оптимизации работы судовой энергетической установки как единого многофункционального комплекса с использованием инструментария искусственного интеллекта.

### The summary

The model of optimization of work of ship power installation as uniform multipurpose complex with use of toolkit of an artificial intellect is resulted.

В соответствии с [1] под интеллектуальной технологией оптимизации работы энергетической установки судна понимается симбиоз автоматизированной информационной системы (в данном случае компьютерной программы) обоснования оптимального режима работы судовой энергетической установки (СЭУ) с элементами искусственного интеллекта. В данном случае в качестве инструментария искусственного интеллекта используются семантические сети и аппарат булевой логики.

Как правило, при обосновании режимов работы главного и вспомогательного оборудования СЭУ они рассматриваются как независимые источники энергии [2]. Между тем, работа состав-

ляющих судовой энергетической установки взаимосвязана и взаимозависима. Пример рассмотрения СЭУ, как единого комплекса – обоснование режима её работы, исходя из минимума путевого расхода топлива ( $b_v$  в кг/км)

$$b_v = \frac{B_y}{v} = \frac{B_{гд} + B_{вд} + B_{ак}}{v} \rightarrow \min,$$

где  $B_y = B_{гд} + B_{вд} + B_{ак}$  – суммарный часовой расход топлива на установку;  $B_{гд}$ ,  $B_{вд}$  и  $B_{ак}$  – часовой расход топлива главными двигателями, вспомогательными двигателями и автономными котлами;  $v$  – скорость движения судна.

Ограниченность такого подхода к обоснованию режима работы СЭУ состоит в том, что, во-первых, при расчете  $b_v$  установка рассматривается как комплекс одной функции (обеспечение необходимой скорости движения судна), а во-вторых – не учитываются условия эксплуатации судна и то, что главные и вспомогательные элементы установки часто используют различные сорта топлива, которые энергетически и экономически не равноценны.

Между тем СЭУ – это комплекс, по крайней мере, трех функций (обеспечение необходимой скорости движения судна, его электро- и теплоснабжение), что приводит к необходимости рассматривать выбор режима её работы как решение некоторой оптимизационной задачи [3]. При этом модель оптимизации состоит из функционала, где в качестве целевой функции используются удельные затраты энергии на движение судна ( $e$  в кДж/т\*км), которые по-существу являются модернизацией  $b_v$ , в следующем виде

$$e = \left\{ b \left[ X_{K_{г}} P_{г} \left( \frac{n}{n_{г}} \right)^3 - X_{г} P_{г} \right] Q_{г} + X_{в} B_{в} Q_{вв} + X_{к} B_{к} Q_{к} - X_y Q_y - \right. \\ \left. - 10^5 X_y W_0 \right. \\ \left. / G v_{г} \left( \frac{n}{n_{г}} \right) \right\} \rightarrow \min;$$

при

$$X = x; \quad X_{г} = \text{ЕСЛИ}(X_{г} = 0; 1; 0); \quad X_{к} = \frac{Q_y (x_y - X_y)}{X_{к} Q_{к}};$$

$$X_{г} = \text{ЕСЛИ}(x_{г} = 0; 0; \text{ЕСЛИ} \left( \frac{n}{n_{г}} \geq 1; x_{г}; 0 \right));$$

$$X_y = \text{ЕСЛИ}(x_y = 0; 0; \text{ЕСЛИ}(q_r \geq 1; x_y; q_r));$$

$$X_o = \text{ЕСЛИ}(x_o = 0; 0; \text{ЕСЛИ}(q_b \geq x_o; x_o; q_r));$$

и системы ограничений и граничные условий, которая в общем случае включает в том числе и ограничения параметра оптимизации (относительной частоты вращения коленчатого вала главных двигателей  $n/n_n$ ) по безопасности главных двигателей ( $n/n_{нб}$ ), их топливной экономичности ( $n/n_{нт}$ ), а также по условиям снабжения судна в ходу электроэнергией ( $n/n_{но}$ ), теплотой ( $n/n_{нг}$ ) и вспомогательными ресурсами (в данном случае пресной водой  $n/n_{нв}$ ) в следующем виде

$$\frac{n}{n_{нб}} = \text{ЕСЛИ}\left(K_b \leq 1; 1; \text{ЕСЛИ}(K_b > 1; \sqrt{\left\{\left(1 - \frac{n}{n_n}\right) / \left[K_b \left(2 - \frac{n_{\min}}{n_n}\right) - 1\right]\right\}}\right);$$

$$\frac{n}{n_{нг}} = \sqrt[3]{X_y Q_y / (0,10 \dots 0,15) X K_b P_n Q_n};$$

$$\frac{n}{n_{нв}} = \sqrt[3]{[2200(5n_b + 0,01 \sum P + 0,01 \sum Q) / (0,03 \dots 0,05) X K_b P_n Q_n]},$$

где  $b$  – доленой удельный расход топлива главного двигателя в ходовом режиме [4];  $P_n$  и  $P_r$  – номинальные мощности главного двигателя и валогенератора, кВт;  $K_b$  – коэффициент режима работы судна;  $V_b$  и  $V_k$  – часовой расход топлива вспомогательного двигателя и автономного котла, кг/ч;  $Q_{нв}$  и  $Q_n$  – низшая удельная теплота сгорания топлива, используемого вспомогательными и главными двигателями, кДж/кг;  $X$  – число работающих в ходовом режиме главных двигателей из их общего количества  $x$ ;  $X_b$  – число работающих в ходовом режиме вспомогательных двигателей из их общего количества  $x_b$ ;  $X_r$  – число работающих в ходовом режиме валогенераторов из их общего количества  $x_r$ ;  $X_k$  – число работающих в ходовом режиме автономных котлов из их общего количества  $x_k$ ;  $X_y$  – число работающих в ходовом режиме утилизационных котлов из их общего количества  $x_y$ ;  $X_o$  – число работающих в ходовом режиме водоопреснительных установок из их общего количества  $x_o$ ;  $q_r$  и  $q_b$  – запас режима главных двигателей по отработавшим газам и охлаждающей воде;  $Q_y$  – теплопроизводительность автономного котла, кДж/ч;  $W_o$  – производительность водоопреснительной установки, т/сут;  $n_{\min}/n_n$  – относительная минимальная частота вращения коленчатого вала главных двига-

телей;  $n_3$  – число членов экипажа и пассажиров судна ;  $\Sigma P$  и  $\Sigma Q$  – номинальные мощность всех дизелей в кВт и теплопроизводительность всех котлов в МДж;  $G$  и  $v_n$  – водоизмещение судна в т и его паспортная скорость движения в км/ч.

При поиске решения с помощью этой модели искомыми являются оптимальная относительная частота вращения коленчатого вала главных двигателей ( $n/n_{но}$ ) и показатели элементов установки и судна в функции от  $n/n_{но}$ .

Использование элементов искусственного интеллекта позволяет автоматически настраивать компьютерную программу на решение конкретной задачи. Участие оператора сводится лишь к формированию базы исходных данных и выбору цели поиска решения (в данном случае приоритетов при определении  $n/n_{но}$ ). Разработанная интеллектуальная технология предусматривает три варианта приоритетов в виде следующих логических формул:

$$\begin{aligned} \frac{n}{n_{но}} &= \text{ЕСЛИ} \left( \text{МАКС} \left( \frac{n}{n_{нг}}, \frac{n}{n_{нз}}, \frac{n}{n_{нв}} \right) \leq \right. \\ &\quad \left. \leq \text{МИН} \left( \frac{n}{n_{нб}}, \frac{n}{n_{нт}} \right); \text{МАКС} \left( \frac{n}{n_{нг}}, \frac{n}{n_{нз}}, \frac{n}{n_{нв}} \right); \text{МИН} \left( \frac{n}{n_{нб}}, \frac{n}{n_{нт}} \right) \right); \\ \frac{n}{n_{но}} &= \text{МИН} \left( \text{МАКС} \left( \frac{n}{n_{нг}}, \frac{n}{n_{нз}}, \frac{n}{n_{нв}} \right); \text{МИН} \left( \frac{n}{n_{нб}}, \frac{n}{n_{нт}} \right) \right); \\ \frac{n}{n_{но}} &= \text{ЕСЛИ} \left( \text{И} \left( \frac{n}{n_{\text{мин}}} \geq \text{МАКС} \left( \frac{n}{n_{нг}}, \frac{n}{n_{нз}}, \frac{n}{n_{нв}} \right); \frac{n}{n_{\text{мин}}} \leq \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \leq \text{МИН} \left( \frac{n}{n_{нб}}, \frac{n}{n_{нт}} \right) \right); \frac{n}{n_{\text{мин}}} \right); \text{ЕСЛИ} \left( \text{МАКС} \left( \frac{n}{n_{нг}}, \frac{n}{n_{нз}}, \frac{n}{n_{нв}} \right) < \right. \\ &\quad \left. = \text{МИН} \left( \frac{n}{n_{нб}}, \frac{n}{n_{нт}} \right); \text{МАКС} \left( \frac{n}{n_{нг}}, \frac{n}{n_{нз}}, \frac{n}{n_{нв}} \right); \text{МИН} \left( \frac{n}{n_{нб}}, \frac{n}{n_{нт}} \right) \right); \end{aligned}$$

где  $n/n_{\text{мин}}$  - относительная частота вращения коленчатого вала главных двигателей при  $e_{\text{мин}}$ .

Первый вариант гарантирует обеспечение судна в ходу необходимыми видами энергии и вспомогательными ресурсами при соблюдении условий безопасности и топливной экономичности главных двигателей, второй - исходит из того, что судно будет работать с возможными минимальными удельными

затратами энергии на его движение, а третий – является комбинацией первых двух.

#### Список литературы

1. Интеллектуальные технологии производства приборов и систем: учебное пособие / В.А.Валетов, А.А.Орлова, С.Д.Третьяков. – СПб.: СПбГУИТМО, 2008.

2. Овсянников М.К., Петухов В.А. Судовые автоматизированные энергетические установки. - М.: Транспорт, 1989. - 256 с.

3. Баёв А.С. Оптимизация работы судовой энергетической установки: материалы второй Всероссийской межотраслевой научно-технической конференции «Актуальные проблемы морской энергетики». - СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2013. - С.124-126.

4. Баёв А.С. Расход топлива главных двигателей судов: материалы Всероссийского межотраслевого научно-технического форума «Корабельная энергетика: из прошлого в будущее». – СПб.: СПбГМТУ, 2017. - С. 256-257.