

ОПТИМИЗАЦИЯ КАПИТАЛЬНЫХ ВЛОЖЕНИЙ НА ПОВЫШЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СУДОВ

Значительный процент в структуре основных фондов флота страны составляют автоматизированные суда. Капиталовложения в автоматизацию производственных процессов колеблются в пределах 4 ... 10 %, а иногда и более того, по отношению к строительной стоимости судна. Естественно, капитальные затраты на автоматизацию должны быть всесторонне обоснованы.

В ряде литературных источников приводятся результаты технико-экономических предпосылок эффективного использования различных объемов автоматизации судовых производственных процессов, в том числе судовождения, управления энергетическими установками, погрузочно-разгрузочными операциями, административно-хозяйственными функциями и другими. При этом установлено, что не всегда автоматизация названных процессов повышает эффективность эксплуатации судна в виде увеличения прибыли для судоходной компании.

Существенным фактором, снижающим эффективность автоматизации судов, являются аварии и отказы механизмов вследствие их неправильной эксплуатации и недостаточной надёжности. На восстановление нанесенных ущербов по названным причинам расходуются значительные средства, снижающие результаты работы судна, а в отдельных случаях эта работа становится нерентабельной. В силу упомянутых обстоятельств резко понижается потенциальная экономическая эффективность автоматизации технологических процессов и существенно увеличиваются расчетные сроки окупаемости первоначальных капитальных вложений.

Особенно значительны капиталовложения на автоматизацию судовых энергетических установок (СЭУ), уровень надёжности которых в наибольшей степени оказывает влияние на эффективное функционирование судна в целом. Величина капитальных вложений на автоматизацию процессов управления и контроля СЭУ серийного теплохода составляет 6 ... 8 % строительной стоимости судна, то есть 65 ... 70 % от общих затрат на автоматизацию судна.

В то же время СЭУ автоматизированных судов, зачастую перенасыщенное средствами автоматического управления и контроля, комплектуется малонадёжным основным и вспомогательным оборудованием. По-видимому, отдельные проектанты полагают, что так будет

несколько экономичнее. Однако подобные решения не нашли должного обоснования. Поэтому следует согласиться с утверждением ряда авторов о том, что оптимальное соотношение уровней надёжности технических средств (оборудования) и автоматики должно быть всесторонне обосновано и, прежде всего, экономически.

Экономическую эффективность автоматизации на морском флоте принято определять в результате сравнения приведенных затрат двух и более вариантов уровней автоматизации. Естественно, тот вариант автоматизации судна, где приведенные затраты будут минимальными, можно считать оптимальными по отношению к остальным.

Приведенные затраты для серийного автоматизированного судна существенным образом зависят от уровня надёжности установленных средств автоматизации (управления и контроля). Доля приведенных затрат, учитывающая ненадёжность средств автоматизации

$$\Delta W_{QA} = \varepsilon_1 P_{ТП} + \varepsilon_2 P_{ТН} + \varepsilon_3 V_{П}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – коэффициент влияния ненадёжности средств автоматизации на рассматриваемый фактор ($1 \geq \varepsilon_i \geq 0; i = 1 \div 3$); $P_{ТП}$ – ежегодные расходы на текущий (плановый) ремонт установленных технических средств; $P_{ТН}$ – то же, на неплановые (аварийные) ремонты, вызванные внезапными отказами технических средств; $V_{П}$ – ежегодные убытки (ущерб) в эксплуатации судна, связанные с простоями или отклонениями от оптимальных режимов работы технических средств вследствие возникновения отказов, неисправностей.

Компоненты выражения (1) практически определить нетрудно.

Отношение $\Delta W_{QA}/W$, где W – приведенные затраты на оборудование машинного отделения (МО) серийного автоматизированного судна, может быть использовано как для оценки предварительной экономической эффективности конструктивных способов повышения надёжности для автоматизированных судовых объектов, так и собственно средств автоматизации различных вариантов оборудования энергетических установок судов. К конструктивным способам повышения надёжности объектов силовых установок можно отнести помимо автоматического регулирования и разветвленные системы автоматического контроля.

Проблема повышения надёжности средств автоматизации весьма многоаспектна и представляет самостоятельный интерес. Тем не менее, с экономических позиций она имеет свое разрешение в каждом конкретном случае использования автоматики на флоте.

Известно, что с ростом надёжности средств автоматизации растут и капитальные затраты на их производство и эксплуатацию (разработку, технологию массового производства, испытание, эксплуатацию).

Причем эти затраты не линейны (не пропорциональны) по отношению к показателям надёжности, что видно из выражения, которым можно аппроксимировать эту зависимость:

$$\frac{Q_{\Pi}}{Q_0} \approx \left(\frac{R_{\Pi}}{R_0} \right)^{\frac{1}{\alpha}}, \quad (2)$$

где R_{Π} – капитальные затраты по проектному варианту средств автоматизации; R_0 – то же, по базовому варианту (существующий прототип, образец, гипотетическая модель); Q_{Π} – вероятность безотказной работы проектного варианта средств автоматизации; Q_0 – то же, базового варианта; α – показатель степенной зависимости.

Практикой установлено, что $\alpha > 1$ (приблизительно 2 ... 3, а в отдельных случаях больше). Также известно, что повышение надёжности средств автоматизации обходится дорого как в судостроении, так и в других областях народного хозяйства.

Поэтому немаловажным вопросом является такой: как следует правильно (целесообразно), сообразуясь с опытом эксплуатации, нормировать затраты на увеличение надёжности средств автоматизации, чтобы они окупались в установленные нормативные сроки (E_{Π}^{-1} , где E_{Π} – нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений)? Ведь очевидным является уже тот факт, что нельзя произвольно увеличивать надёжность вновь создаваемых средств автоматизации по сравнению даже с самыми лучшими, базовыми образцами без соответствующих экономических обоснований, тем более, если принимаемые решения будут осуществляться на судах серийного производства. В то же время известно, что уровень надёжности любых средств автоматизации не может превосходить 1 (100 %).

Ниже рассматривается методика определения так называемой "цены" надёжности, как одного из важных показателей технико-экономической эффективности средств автоматизации. Кроме того, приводятся соображения о том, как управлять упомянутой "ценой" и абсолютным уровнем надёжности с точки зрения *нормирования расходов* на эти цели.

Произведем следующие преобразования в (2):

$$\left. \begin{aligned} Q_{\Pi} &= Q_0 + \Delta Q \\ R_{\Pi} &= R_0 + \Delta R \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где ΔQ – прирост надёжности в проектном варианте по сравнению с базовым; ΔR – прирост капитальных затрат на повышение надёжности

в проектном варианте по сравнению с базовым.

Подставим (3) в (2), получим

$$\frac{Q_0 + \Delta Q}{Q_0} \approx \left(\frac{R_0 + \Delta R}{R_0} \right)^{\frac{1}{\alpha}}.$$

После преобразований можно записать:

$$1 + \frac{\Delta Q}{Q_0} \approx \left(1 + \frac{\Delta R}{R_0} \right)^{\frac{1}{\alpha}}. \quad (4)$$

Введём обозначения:

$q = \Delta Q/Q_0$ – относительное увеличение надёжности проектного варианта по сравнению с базовым;

$r = \Delta R/R_0$ – относительное увеличение капитальных затрат в проектном варианте по сравнению с базовым.

Сделаем подстановку принятых обозначений в (4):

$$\left. \begin{aligned} 1 + q &\approx (1 + r)^{\frac{1}{\alpha}} \\ q &\approx (1 + r)^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

Продифференцируем (5), считая условно $\alpha = \text{const}$:

$$\frac{dq}{dr} \approx \frac{[1 + r]^{\left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right)}}{\alpha}. \quad (6)$$

Аналогичным образом, разделив переменные в (5), и полагая $\alpha = \text{const}$, можно получить

$$\frac{dr}{dq} \approx \alpha (1 + q)^{\alpha-1}. \quad (7)$$

Выражение (7) представляет собой математическую интерпретацию "цены" надёжности, то есть характеризует величину изменения затрат на единицу надёжности (скажем, на один процент вероятности безотказной работы).

Выражение (6) представляет собой обратную величину "цены" надёжности, т.е. характеризует величину изменения надёжности на единицу затрат.

Иногда авторы полагают, что вероятности безотказной работы (с точки зрения оптимальных затрат на автоматизацию) проектируемого и базового вариантов должны отличаться на 20 ... 40 %. Если в (7) положить $\alpha = 3$, а $q = 0,3$, то $dr/dq \approx 5,07$, то есть, для увеличения на 1 %

вероятности безотказной работы потребуется 5,07 % увеличения дополнительных капитальных затрат. Следовательно, для увеличения надёжности на 30 % по названному показателю потребуется увеличение капитальных затрат на 152 %, т.е. примерно в 1,5 раза больше по сравнению с базовым вариантом. Как видно из примера, "цена" надёжности действительно велика. Подобные примеры наблюдаются в практических случаях.

Анализируя выражения (5) – (7), можно убедиться, что они представляют собой монотонные функции, не имеющие экстремума. В связи с этим "цена" надёжности не подлежит оптимизации с точки зрения аппарата исследования производных. А коль скоро это так, то нельзя самопроизвольно увеличивать надёжность вновь проектируемых систем автоматизации судов, не учитывая значительные затраты на эту цель. Рассмотренный пример показывает, что, чем больше скачок мы желаем предпринять в уровнях надёжности, тем значительно больше он должен быть в уровнях капитальных затрат проектируемого варианта по сравнению с базовым. А такой шаг не всегда представляется возможным или целесообразным из-за ограниченности капитальных вложений.

Поэтому очевидным является тот факт, что повышать надёжность средств автоматизации судов серийной постройки надо начинать прежде всего с решения вопроса: какая величина дополнительных капитальных вложений (затрат) на данном этапе эксплуатации может быть признана целесообразной для повышения уровня надёжности функционирующих средств автоматизации?

В качестве такой величины можно рекомендовать

$$\Delta R = \frac{1}{E_H} \Delta W_{QA} = T_H W_{QA}, \quad (8)$$

где T_H – нормативный срок окупаемости капитальных вложений; ΔW_{QA} – доля приведенных затрат, учитывающих ненадёжность средств автоматизации, см. выражение (1).

Зная величину капитальных затрат на базовый вариант средств автоматизации R_0 и нормируемый прирост капитальных затрат на величину ΔR в конкретном варианте, можно определить величину " r ". Затем следует по данным статистических наблюдений (испытаний) задать величину " α " и по выражению (6) определить обратную "цену" надёжности. Полученный результат следует умножить на " r ", чтобы получить " q ", то есть ожидаемое (вероятное) увеличение надёжности в проектном варианте по сравнению с базовым.

Рассмотрим пример, иллюстрирующий предлагаемую методику определения (прогнозирования) рационального уровня надёжности с

точки зрения оптимума (нормируемого уровня) дополнительных капитальных вложений.

Исходные данные: $R_0 = 200$ тыс. единиц; $\Delta W_{QA} = 15$ тыс. единиц; $E_H = 0,15$; $T_H = 6,65$ года; $\alpha = 2$; $Q_0 = 0,6$.

Решение:

$$\Delta R = T_H \Delta W_{QA} = 6,65 \cdot 15 = 100 \text{ тыс. единиц};$$

$$r = \frac{\Delta R}{R_0} = \frac{100}{200} = 0,5;$$

$$\frac{dq}{dr} = \frac{[1+r]^{\left(\frac{1-\alpha}{\alpha}\right)}}{\alpha} = \frac{[1+0,5]^{\frac{1-2}{2}}}{2} = 0,41;$$

$$q = r \frac{dq}{dr} = 0,5 \cdot 0,41 = 0,205;$$

$$\Delta Q = q Q_0 = 0,205 \cdot 0,6 = 0,123;$$

$$Q_{H'} = Q_0 + \Delta Q = 0,6 + 0,123 = 0,723;$$

$$\frac{dr}{dq} \approx \alpha(1+q)^{\alpha-1} = 2(1+0,205)^{(2-1)} = 2,41;$$

$$R_{H'} = R_0 + \Delta R = 200 + 100 = 300 \text{ тыс. единиц}.$$

Как видим, затраты на увеличение надёжности значительны. Тем не менее полученный уровень надёжности в проектном варианте экономически обоснован.

В *заключение* можно отметить, что среди различных показателей эффективности средств автоматизации судовых производственных процессов наиболее важными и определяющими целесообразность их использования следует считать показатели надёжности и экономической эффективности. Повышение уровня надёжности технических средств судов серийной постройки должно быть обосновано с позиций экономической эффективности дополнительных капитальных вложений для этой цели. Одна из возможных методик такого обоснования рассмотрена в настоящей работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Вопросы экономической эффективности автоматизации судов: материалы по обмену опытом. – Выпуск 147. – Л.: Судостроение, 1977. – 144 с.