

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ И РЕМОНТА МОРСКИХ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Ю.В. Железняк

Севастопольский государственный
технический университет

г. Севастополь, бухта Стрелецкая,
Студгородок

E-mail: root@sevgtu.sebactopol.ua

Современные методы разработки и создания новой техники отличаются комплексным подходом к решаемой проблеме. Особенно важно органически соединить в едином процессе проектирования поиск технических решений с расчетами экономического характера.

Эффективность конструкторских, технологических и организационных решений определяется, прежде всего, уровнем качества создаваемой техники. Эффект, получаемый потребителем, тем больше, чем выше качественные показатели новых машин, созданных для замены существующих и выполняющих аналогичные функции. Качественные показатели, в свою очередь, определяются техническими параметрами новой техники, и, следовательно, экономический эффект потребителя \mathcal{E} - функция технических параметров, создаваемой техники, т.е.

$$\mathcal{E} = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

где n — число рассматриваемых параметров.

Затраты, связанные с проектированием, изготовлением и эксплуатацией техники, тоже зависят от заданного уровня показателей качества, т.е.

$$Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (2)$$

Обеспечиваемые при проектировании потенциальные возможности разрабатываемой техники могут полностью

проявиться только в определенных условиях.

Величина эффекта и величина затрат зависят от условий производства и эксплуатации техники, т.е.

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= f(y_1, y_2, \dots, y_m) \\ Z &= f(y_1, y_2, \dots, y_m), \end{aligned} \quad (3)$$

где y_i — количественные характеристики этих условий;

m — число рассматриваемых характеристик.

Эффективность решений, определяемая отношением полученного эффекта к произведенным затратам, следовательно, также функция параметров и показателей техники x_i и условий производства и эксплуатации y_i т.е.

$$E = \mathcal{E}/Z = F[(x_1, x_2, \dots, x_n)(y_1, y_2, \dots, y_m)] \quad (4)$$

Так как многие из показателей качества противоречивы и улучшение одних приводит к ухудшению других, что может отрицательно сказаться на уровне эффективности, то при конструировании возникают задачи отыскания компромиссных решений при определенных ограничениях.

Повышение надежности морских газотранспортных систем является основным требованием обеспечения экологической безопасности при освоении морских нефтегазовых месторождений, строительстве и эксплуатации подводных трубопроводов.

Чтобы избежать аварийных ситуаций при эксплуатации подводных трубопроводов на протяжении всего срока службы, необходимо периодически проводить инспекции газотранспортных систем, с целью своевременного обнаружения аварийных участков и проведения плановых ремонтов.

Эти инспекции должны выполняться посредством надводных и подводных технических средств, оснащенных приборами не только для визуального ос-

мотра трубопровода, а также позволяющими определить и зарегистрировать большое количество данных, соответствующих трубопроводу и его условию взаимосвязи с дном.

Периодичность инспекции трубопровода непосредственно связана с характеристиками опасности и динамики морской среды, в которой проложен трубопровод. Предполагаемая периодичность инспекций должна быть такой, чтобы обеспечить максимальную надежность системы.

Обнаружение внутренних дефектов, а также дефектов связанных с состоянием грунта и изменением профиля трубопровода, требует накопления статистических данных в течение длительного периода и по всей протяженности трубопровода.

Во время инспекции должны выполняться следующие работы:

- визуальный осмотр трубопровода, бетонного утяжелителя и защитного покрытия;
- проверка глубины залегания трубопровода в траншее;
- эффективность и функциональность катодной защиты;
- проверка конфигурации и профиля дна;
- обнаружение возможных процессов коррозии;
- контроль дефектов металла, вызванных внешним воздействием, старением и прочими причинами.

Перечисленные виды контроля выполняются при внешнем осмотре с помощью подводного аппарата и при внутреннем осмотре при помощи специальной автоматизированной контрольно-измерительной системы, перемещающейся во время инспекций внутри трубопровода.

Система комплексного контроля состояния морских подводных трубопроводов представляет собой сложную информационно-техническую систему, в состав которой входят:

- береговая база с информационной

системой;

- судно обеспечения;
- навигационная система;
- необитаемый подводный аппарат;
- система внутреннего контроля трубопровода.

Оценка эффективности и оптимизация состава средств диагностики и ремонта морских подводных трубопроводов требует разработки методики оценки и должны производиться с учетом вероятностей событий.

Расчет общего критерия эффективности для сложных систем, у которых отказ подсистемы не приводит к отказу всей системы, а может привести к снижению уровня ее эффективности должен учитывать все возможные состояния системы при отказе ее подсистем в рассматриваемом промежутке времени.

Для решения поставленной задачи необходимо найти вероятность события A_1 , которое может произойти при осуществлении одной из гипотез H_1, H_2, \dots, H_n .

Считаем, что все n гипотез (событий) образуют полную группу несовместных событий. При данных условиях вероятность события A вычисляется как сумма произведений вероятности каждой гипотезы на вероятность события при этой гипотезе.

Формула, соответствующая этой формулировке:

$$P(A) = \sum P(H_i)P(A/H_i), (i=1, \dots, n) \quad (5)$$

где $P(H_i)$ — вероятность гипотезы H_i ;

$P(A/H_i)$ — условная вероятность появления события A при гипотезе H_i .

Критерий эффективности:

$$\Phi = P(A) = \sum P_i \Phi_i \quad (6)$$

где $P(A)$ — общий критерий эффективности;

Φ_i — частный критерий эффективности, который в соответствии с (5) имеет

смысл условной вероятности появления события А при гипотезе H_i ;

P_i — вероятность гипотезы H_i .

Для каждого состояния надо находить частный критерий эффективности системы.

Рассмотрим систему, состоящую из n невосстанавливаемых подсистем. Следовательно, каждая подсистема может находиться либо в работоспособном состоянии, либо в состоянии отказа. В заданном интервале времени частные критерии эффективности i зависят от моментов возникновения отказов подсистемы.

В этом интервале можно отразить все возможные состояния системы на основе полной группы несовместных событий. Состояние системы определяется в данном случае состоянием подсистем. Примером одного из состояний систем является работоспособность всех подсистем. Примером другого состояния может служить отказ одной подсистемы при наличии $(n-1)$ работоспособных подсистем.

Введем следующие обозначения:

H_0 — гипотеза о том, что все подсистемы работоспособны;

H_i — гипотеза о том, что i -я подсистема отказала, а $(n-1)$ подсистем исправны;

H_{ij} — гипотеза о том, что отказали две подсистемы (i -я и j -я), а $(n-2)$ подсистемы работоспособны ($i, j = 1, n; i < j$);

$H_{1,2,\dots,n}$ — гипотеза о том, что отказали все подсистемы;

K_r — коэффициент готовности системы (вероятность в исправного состояния системы);

P_0 — вероятность гипотезы H_0 ;

P_1 — вероятность гипотезы H_1 ;

P_i — вероятность гипотезы H_i ;

q_i — вероятность нахождения i -й подсистемы в состоянии отказа в заданном интервале времени.

P_i — вероятность нахождения систем в i -м состоянии, соответствующем гипотезе H_i ,

r_i — вероятность нахождения i -й

подсистемы в работоспособном состоянии.

Вероятность P_i определяется по следующей формуле

$$P_i = r_1 r_2 \dots r_{i-1} q_i r_{i+1} \dots r_n, \quad (7)$$

вероятность гипотезы H_{ij} —

$$P_{ij} = r_1 r_2 \dots r_{i-1} q_i r_{i+1} \dots r_{j-1} q_j r_{j+1} \dots r_n$$

(вероятности гипотез определяются по правилам умножения вероятностей независимых событий).

Общий критерий эффективности выразится на основе формул полной вероятности так:

$$\Phi = K_r (P_0 \Phi_0 + \sum P_i \Phi_i + \sum P_{ij} \Phi_{ij} + \dots + \sum P_{ijk} \Phi_{ijk} + P_{1,2,\dots,n} \Phi_{1,2,\dots,n}), \quad (8)$$

где $\Phi_{1,2,\dots,n}$ — частный критерий эффективности при отказе всех подсистем.

Таким образом, для решения практических задач по определению общих критериев эффективности необходимо определить вероятности безотказной работы каждой подсистемы (или вероятность ее отказа) и частные критерии эффективности.

Определим эффективность контроля экономической информации при наличии трех видов контроля: синтаксического, семантического и прагматического. Считаем, что качество контроля одного вида не влияет на качество контроля другого вида (коэффициент готовности всей системы контроля равен 0,99).

При исключении трех видов (уровней) контроля частные критерии эффективности равны нулю. При исключении синтаксического контроля частный критерий его эффективности равен нулю.

Известны вероятности решения задачи при каждом виде контроля:

$$P_{\text{синт}} = P_1 = 0,99;$$

$$P_{\text{сем}} = P_2 = 0,96;$$

$$P_{\text{прагм}} = P_3 = 0,95.$$

В настоящее время известно большое количество подходов и моделей, где исследуется общий критерий эффективности с учетом затрат на получение эффекта. В большинстве случаев Φ_i не является независимой от C величиной. Поэтому не представляется возможным найти общую зависимость между этими критериями, пригодную для вычислений в самых разных условиях. После определения зависимости $\Phi(C)$ можно определить общий критерий эффективности с учетом затрат. Если значения одного из критериев заданы в какой-то ограниченной области, то можно найти область возможных значений другого критерия.

Очень часто в качестве общего критерия выбирают отношение

$$\Phi_c = \frac{\Phi(C)}{C}. \quad (9)$$

Его можно рассматривать как сред-

нюю величину критерия эффективности, приходящуюся на единицу стоимости затрат.

Для процесса, который характеризуется максимальным значением критерия Φ_c можно найти максимум среднего эффекта на единицу затрат. Для этого надо в формуле взять первую частную производную по стоимости C и приравнять ее нулю:

$$\frac{\partial \Phi_c}{\partial C} = \frac{1}{C} * \frac{\partial \Phi_c}{\partial C} - \frac{1}{C^2} \Phi(C);$$

$$\frac{\partial \Phi(C)}{\partial C} - \frac{\Phi(C)}{C} = 0; \quad (10)$$

Таким образом, на основе вероятностного критерия проведена оценка эффективности и разработана методика, которые могут быть использованы при оптимизации состава средств диагностики и ремонта морских подводных трубопроводов.