

вечные времена, а заменить ее РО новым, провести ремонт оставшегося оборудования и продолжить эксплуатацию АЭС.

Демонтаж и вывоз элементов АЭС с места эксплуатации, в частности их реакторных отделений, связан с большими трудностями, ввиду наличия больших масс конструкций, “зараженных” радионуклеидами. И при их разборке, и при транспортировке возможно радиоактивное загрязнение окружающей местности и транспортных средств, а также поражение ионизирующими излучениями большого количества людей. Опасность таких операций очевидна, что приводит к мысли о необходимости консервации РО без разборки.

Вместе с тем, значительное количество АЭС, многие из которых в ближайшее время подлежат снятию с эксплуатации, построено в прилегающих к морскому берегу районах и их РО могут быть демонтированы целиком, без разборки, наплавным способом, а затем доставлены морем в места длительного хранения. При этом, не только обеспечивается снятие с эксплуатации отработавших РО, но и появляется возможность замены их новыми для продолжения эксплуатации АЭС.

Сущность наплавного способа заключается в том, что при транспортировке объекта по водной акватории, снятии или установке его на месте эксплуатации используется собственная плавучесть конструкции объекта. При этом конструкция заранее предполагается водонепроницаемой (проектируется или дорабатывается), по крайней мере, в ее водоизмещающей части. При недостаточной собственной плавучести конструкции она увеличивается за счет присоединения дополнительных несущих понтонов, причем в конструкцию объекта с этой целью вводят дополнительные соединительные и несущие элементы, позволяющие объединить объект и несущие понтоны в единый плавкомплекс (ПК). При этом ПК рассчитывается как единая конструкция на соответствие мореходных и прочностных качеств условиям подъема ПК в водоизмещающее положение, транспортировки и постановки его на место хранения.

Использование наплавного способа снятия береговых АЭС с эксплуатации, по-видимому, является экологичным, экономичным, единственно целесообразным и практически осуществимым мероприятием.

### КОНСТРУКТИВНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Летаяф М.А.

*Казанский государственный  
технический университет им. А.Н. Туполева,  
Казань*

Типовой подход к проектированию антенной решетки состоит из нескольких этапов. На первом этапе, опираясь на классическую теория антенных решеток, находят оптимальные амплитудно-фазовые распределения токов в излучателях решетки. Значения амплитуд и фаз могут быть произвольными и оптимальными в смысле обеспечения, например, минимального уровня боковых лепестков при заданной ширине диаграммы направленности и обеспечиваю-

щими произвольное положение луча в пространстве. Вопросы конструктивной реализуемости таких распределений при этом не рассматриваются. На втором этапе разрабатывается делитель, который дает необходимое амплитудное распределение с некоторой ошибкой, которая может быть уменьшена только ценой усложнения конструкции. На третьем этапе, который может идти параллельно со вторым, непрерывное фазовое распределение заменяют дискретным, выбирают дискрет фазы и число фазовых состояний у фазовращателей. При этом также точность установки фаз приводит к росту сложности конструкции. Сложность конструкции приводит к росту стоимости производства и настройки изделия, а также к нестабильности его работы при внешних воздействиях (температурных, вибрационных и т.п.). В итоге теряется теоретическая оптимальность антенной решетки.

Другой подход состоит в том, чтобы уже на этапе проектирования учитывать имеющиеся технические возможности и существующий уровень производства. Строится теоретическая модель антенной решетки, в которую входят реальные конструктивные параметры: число состояний и дискрет фазы фазовращателей, технологичный базовый элемент, который будет использован в конструкции делителя. Дальнейшие задачи проектирования решаются как задачи численной оптимизации, находятся оптимальные схема делителя и закон управления фазовращателями. При таком подходе обеспечивается возможность практической реализации оптимальной конструкции.

На практике получили распространение фазированные антенные решетки с фиксированным амплитудным распределением и дискретным управлением фазами токов излучателей.

Амплитудная диаграмма направленности решетки имеет вид:

$$F(\mathbf{q}) = \left| \sum_{i=1}^N I_i \cdot \exp(j(kx_i \sin \mathbf{q} - j_i)) \right|,$$

где  $N$  - число излучателей в решетке,  $I_i$  - амплитуда тока  $i$ -го излучателя,

$j_i$  - фаза тока  $i$ -го излучателя,  $j_i = \Delta j (m - 1)$ ,  $1 \leq m \leq M$ ,

$\Delta j$  - дискрет фазы,  $M$  - число состояний фазовращателя,

$x_i$  - координата  $i$ -го излучателя,  $x_i = d(i - 1)$ ,  $d$  - шаг решетки.

Нами рассмотрена задача поиска оптимального фазового распределения на дискретном множестве фазовых состояний.

$$Q = \left\{ j_i : j_i = \Delta j \cdot (m_i - 1), \Delta j = 2\pi/M, m_i = \overline{1, M} \right\}$$

При этом от сканирующей решетки требуется формирование луча в заданном направлении и минимальные значения диаграммы направленности в направлениях прихода помех. Понятно, что степень подавления помех зависит как от параметров решетки: её геометрии, числа излучателей, величины дискрета фазы, так и от взаимного углового положения луча и помех.

Введём допустимый относительный уровень помех  $n_{\text{д}}$ , и разделим множество  $Q$  на два непересекающихся подмножества  $Q = Q_1 \cup Q_2$ . Одно из них  $Q_1$  содержит такие фазовые распределения, для которых относительный уровень помех меньше допустимого, а другое  $Q_2$  - фазовые распределения, не обеспечивающие выполнение этого условия.:

Под оптимальным дискретным фазовым распределением понимается такое, для которого максимальный уровень в направлениях помех будет минимальным. А если он станет меньше допустимого, то будет взят закон с максимальным усилением в направлении полезного сигнала. Математически это определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} \Phi_1(j_i) &= \min_{j_i \in Q_1} 1/F(q_-) \\ \Phi_2(j_i) &= \min_{j_i \in Q_2} \frac{\max_{1 \leq j \leq R} F(q_j^*)}{F(q_-)} \\ \Phi(j_i) &= \min_{1,2} (\Phi_1(j_i), \Phi_2(j_i)). \end{aligned}$$

Оптимальное делительное устройство антенной решетки должно удовлетворять ряду требований: образующиеся на его выходах амплитуды волн обеспечивают необходимые характеристики антенны, выходные каналы развязаны, чем устраняются нежелательные внутренние связи между излучателями решетки; конструкция делителя технологична и проста.

$$\min_{U^n} \max_{q \in \Omega} \frac{|F(q)|}{|F(0)|}$$

Критерием оптимальности взят относительный уровень боковых лепестков

Где сектор определения боковых лепестков:

$$\Omega = \{q : |q_1| \leq q \leq \frac{p}{2} \}$$

Таким образом, требуя уменьшения уровня поля в области боковых лепестков, мы автоматически заставляем антенну формировать луч от 0 до начальной границы этой области.

$$\sum_{i=1}^N |U_i^n|^2 = 1 \quad U_i^n = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^{m_i} \quad m_i = 1, 2, 3, \dots$$

В качестве базового элемента, обеспечивающего выполнение двух последних требований, нами выбран 3-х децибелный кольцевой резистивный делитель мощности. При соединении таких элементов в схему делительного устройства можно получить достаточно разнообразные амплитудные распределения по излучателям. Однако эти распределения таковы, что выходные волны являются целыми степенями, а суммарная мощность передатчика остается постоянной, т.е.

Предложен алгоритмический способ описания таких двоичных делительных схем путем введения вектора структуры делителя  $P$ .

При варьировании элементов вектора структуры делителя вычисляется показатель оптимальности конструкции и находится оптимальная схема делителя

$$\Phi(P) = \min_{|P|} \left( \max_{q_1 \leq q \leq 90^\circ} F(q) \right)$$

Приведенные в докладе примеры решения оптимизационных задач показывают, что разработанные алгоритмы управления дискретными фазовращателями позволяют осуществлять сканирование лучом при наличии помех, обеспечивая улучшение соотношения сигнал/помеха.

Реализованные алгоритмы оптимизации двоичных делительных схем показали возможность построения конструктивно простых делителей с необходимыми на практике параметрами диаграмм направленности.

### МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

Марсова Е.В.

*Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "МАТИ" – Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского, Москва*

Отличительная особенность наукоемких технологий - широкий спектр используемых теоретических и практических методов исследований. Кроме традиционных наукоемких технологий в области реализации микроэлектронных устройств физических и биофизических процессов на молекулярном уровне, генной инженерии и т.п., не менее сложные задачи приходится решать при управлении процессами строительного производства. В докладе рассматриваются теоретические и методологические особенности комплексного управления производством строительных смесей и, в частности, бетонных и асфальтобетонных смесей в едином контексте проблемы интеграции технологии, технических средств, измерений и управления.

Эффективность функционирования процессов с технологически сложно-соподчиненными агрегатами, приведение в соответствие технической насыщенности всех переделов и наиболее производительной непрерывной технологии возможны только с помощью комплексной автоматизации, которая обеспечивает режим функционирования и такую структурно-функциональную связь элементов, при которых достижение заданной цели всего процесса наиболее вероятно. Решение этой проблемы требует принципиально новых подходов и использования основных положений теории систем. Акцент с качественных характеристик отдельных агрегатов и устройств управляемой системы переносится на определение качественных характеристик всей системы в целом, а оптимизация значения глобального критерия достигается взаимной компенсацией отклонений в значениях критериев локальных подсистем на основе их связности. Меняется не только структура системы управления, которая приобретает свойства многоуровневости и иерархичности, но и сам характер взаимодействия