

*Курская Т.Н., канд. техн. наук, доц., НУГЗУ*

## **МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

(представлено д-ром техн. наук Кривцовой В.И.)

В статье рассматриваются методы проектирования и эксплуатации энергоустановок, основанные на анализе номинальных и предельных напряженных состояний несущих конструкций и введении запасов по напряжениям

**Ключевые слова:** прочность, ресурс, надежность, деформация

**Постановка проблемы.** Функционирование объектов энергетического комплекса связано со стратегическими рисками и требует особого внимания и контроля за их эксплуатацией. Это проблема особой важности, которая требует системного подхода для ее обеспечения. Аварии на объектах энергетики с многочисленными жертвами в ряде стран становятся следствием целого ряда причин технического, организационного и нормативно-правового характера. Большинство этих причин носит системный характер, обусловленный многими факторами, включая низкий уровень эксплуатации оборудования, а также несоответствие требуемой и фактической безопасности и надежности агрегатов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Традиционно задачи прочности рассматривались, в основном, как отдельные и самостоятельные, а соответствующие расчетные кривые для предельных и допускаемых состояний определялись выражениями (1-5). При этом в основу были положены деформационные критерии прочности, ресурса и живучести. Это позволяло описать кратковременные и длительные статические разрушения, используемые в анализе статической прочности; циклические разрушения, используемые в анализе циклического ресурса; динамические процессы разрушения; циклический рост трещин, используемый для анализа циклической живучести по критериям трещиностойкости линейной и нелинейной механики разрушения [1,2]. Результаты расчетов и испытаний подтверждают возможность такого

подхода. Однако, реальные несущие элементы объектов энергетики имеют различные зоны концентрации и различные размеры поперечных сечений, что усложняет оценку чувствительности к фактору концентрации напряжений в упругой и неупругой областях. Реальные конструктивные элементы отличаются от лабораторных растягиваемых образцов объемом напряженного состояния – локального и местного. Все это требует проведение дополнительных исследований по детальному и полному учету факторов, влияющих на зависимости базовых характеристик механических свойств от вида напряженного состояния [3].

**Постановка задачи и ее решение.** Решение проблем прочности, ресурса и безопасности сводится к определению допустимых расчетных параметров ресурса и удержанию состояний рассматриваемых объектов в допускаемых пределах по уровням напряжений  $\sigma$  и деформаций  $e$

$$\sigma \leq [\sigma], e \leq [e], \quad (1)$$

где допускаемые величины  $\sigma$  и  $e$  определяются как их разрушающие значения  $\sigma_f$  и  $e_f$ , уменьшенные на соответствующие запасы

$$[\sigma] = \frac{\sigma_f}{n_\sigma}, [e] = \frac{e_f}{n_e}. \quad (2)$$

Это требование распространяется на основные эксплуатационные расчетные параметры – долговечность по числу циклов  $N$  и времени  $\tau$ , размер дефектов  $l$ , температуру  $t$ , устойчивость  $\lambda$

$$N \leq [N], \tau \leq [\tau]; l \leq [l], t \leq [t]; \lambda \leq [\lambda] \quad (3)$$

при использовании соответствующих значений запасов по каждому из них

$$[N] = \frac{N_f}{n_N}, [\tau] = \frac{\tau_f}{n_\tau}, [l] = \frac{l_f}{n_l}, [\lambda] = \frac{\lambda_f}{n_\lambda}. \quad (4)$$

Учитывая, что все расчетные параметры имеют вероятностный характер, то выражения (1-4) дают возможность оценить надежность объектов, что означает обеспечение заданного запаса  $n$  по установленной вероятности  $P$ . Невыполнение (1-4) приведет к увеличению затрат (ущербов)  $U$ , связанных с минимизацией последствий повреждений, отказов, аварий и катастроф. Эти затраты также являются статистически варьируемыми. Таким образом, можно оценить риски  $R$  для каждого  $i$ -опасного состояния

$$R = \sum_i P_i U_i. \quad (5)$$

В случае комплексного анализа прочности, ресурса и безопасности кривая деформирования записывается в форме

$$\sigma = \sigma_T (e/e_T)^m, m = \lg(e_K/e_T), \quad (6)$$

где  $m$  – показатель упрочнения в упругопластической области.

Для расчетов статической прочности и жесткости используются выражения

$$[\sigma] = \min \left\{ \frac{\sigma_B}{n_B}, \frac{\sigma_T}{n_T}, \frac{S_K}{n_S} \right\}, [e] = \min \left\{ \frac{e_T}{n_T}, \frac{e_T}{n_{ep}}, \frac{e_K}{n_{eK}} \right\}, \quad (7)$$

где  $e_K = \ln \frac{100}{100 - \psi_K}$  - истинная деформация при разрушении.

Объемность напряженного состояния учитывается через коэффициент повышения сопротивления образованию пластических деформаций

$$I_\sigma = \sqrt{2 / \left[ (1 + \bar{\sigma}_2)^2 + (\bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3) + (\bar{\sigma}_3 + 1)^2 \right]}, \quad (8)$$

или

$$D_e = 1 / I_\sigma (1 + \bar{\sigma}_2 + \bar{\sigma}_3), \quad (9)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – компоненты главных напряжений;  $D$  - коэффициент снижения предельной пластичности.

Факты потери устойчивости, усталости, недопустимых деформаций, длительного разрушения в элементах энергооборудования в явном виде не учитывали тяжесть последствий указанных опасных явлений и процессов. Так как объекты энергетического комплекса являются объектами высокого риска ( $R$ ), то требования к техногенной безопасности ( $S$ ) можно записать в форме, аналогичной требованиям к прочности

$$S^{\partial} \succ S_K; R^{\partial} \prec R_K, \quad (10)$$

$$R^{\partial} \leq \frac{R(k)}{n_R} = [R]; S^{\partial} \geq \frac{S_K}{n_S} = [S], \quad (11)$$

где  $n_R, n_S$  - запасы по риску и безопасности;  $[R], [S]$  - допускаемые риски и безопасность.

**Выводы.** Общая постановка задач безопасности и риска энергооборудования с учетом их количественной связи с постановкой задач прочности, ресурса, надежности должна включать комплексный анализ системы уравнений (1-11). Анализ безопасности в энергетике целесообразно проводить по критериям рисков аварий и катастроф на базе многокритериальных расчетных и экспериментальных методов [3,4].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Махутов Н.А. Прочность при малоцикловом нагружении: Серия монографических изданий / Под ред. Н.А. Махутова. М.: Наука, 1975-2006. Т.т. 1-33.
2. Махутов Н.А. Прочность и безопасность. Фундаментальные и прикладные исследования. Новосибирск: «Наука», 2008. - 523с.
3. Махутов Н.А. Исследование напряжений и прочности ядерных реакторов: Серия монографических изданий / под ред. Н.А. Махутова, М.М. Гаденина. М.: Наука, 1987-2009, Т.т. 1-9.
4. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие. Книга 3. /Под редакцией: В.А. Котляревского и А.В. Забегаева, М.; Изд-во АСВ, 1998 – 416 с.

Курська Т.Н.

**Методи визначення міцності і надійності елементів енергетичного комплексу**

У статті розглядаються методи проектування і експлуатації енергоустановок, засновані на аналізі номінальних і граничних напружених станів несучих конструкцій і введенні запасів по напруженням

**Ключові слова:** міцність, ресурс, надійність, деформація

Kurskaya T.N.

**Methods durability and reliability to the energy complex**

The paper discusses methods of design and operation of energy systems based on the analysis of nominal and limit condition of bearing structures and the introduction of stocks on stresses

**Key words:** strength, life, reliability, deformation

**УДК 614.841; 551.515**

*Кустов М.В., канд. техн. наук, зам. нач. каф., НУГЗУ,  
Поспелов Б.Б., д-р техн. наук, вед. науч. сотр., НУГЗУ*

**ПАРАМЕТРЫ ИМПУЛЬСНОГО СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ  
ОСАДКООБРАЗОВАНИЯ В ЗОНЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ  
СИТУАЦИЙ**

(представлено д-ром техн. наук Кривцовой В.И.)

На основе свойств атмосферы и параметров электромагнитного излучения показано преимущество ионизации кислорода за счёт бомбардировкой высокоэнергетичными электронами. Проведена оценка необходимых длительности и периода повторения импульсов СВЧ излучения, обеспечивающих протекание процессов искусственного каплеобразования и коагуляции воды.

**Ключевые слова:** ионизация газов, частота ионизации, длительность импульса, рекомбинация ионов, период повторения импульсов

**Постановка проблемы.** Ландшафт территории Украины имеет разноплановый характер. Для регионов с гористой местностью и на территориях бассейнов крупных рек в весенне-осенний период характерны чрезвычайные ситуации, свя-

---

Параметры импульсного сверхвысокочастотного излучения для интенсификации осадкообразования в зоне чрезвычайных ситуаций