

УДК 517.935

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И ИНФОРМАТИКА

В.Г. ПЕТРОСЯН, Р.Р. ГЮЛБУДАГЯН

**АЛГОРИТМ И ОЦЕНКА НАКЛОНА УДАРЯЮЩЕЙ ДЕТАЛИ В
ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ СОССП БЛОКОВ
ВВЭР-440**

Разработан алгоритм распознавания и оценки массы, ее скорости в момент удара, а также угла наклона ударяющей детали на основе гидродинамической теории ударных волн и теории удара Герца. Предложенный алгоритм работает в диагностической системе СОССП, которая функционирует на блоке №2 Армянской АЭС.

Ключевые слова: диагностика, распознавание, ударная волна, мембрана.

Системы диагностики широко используются для повышения уровня ядерной безопасности АЭС. Среди них важное место занимают системы: звукового контроля утечек - ALUS или СКТ [1]; обнаружения свободных и свободно закрепленных предметов - СОССП или KUS [2]; наблюдения за вибрациями - SUS [3] и т.д.

Как известно, удары свободных и освободившихся частей вызывают в главном циркуляционном контуре реактора образование корпусных шумов. Задача СОССП заключается в распознавании места образования шумов и выдаче информации о состоянии отдельных компонентов ядерной установки. Корпусные шумы получаются при ударе свободной детали по стенкам или встроенным элементам, затем записываются пьезоэлектрическими датчиками ускорения в звуковой области. Полученные вследствие удара сигналы обрабатываются различными методами [4 - 7].

В [4, 5] разработан алгоритм определения массы свободного предмета на основе теории Герца, где рассматриваются поперечные удары. В [7] предлагаются алгоритм и программа вычисления скорости ударяющей детали в момент удара, а также определяются зависимости массы ударяющей детали от основной частоты или периода регистрируемых сигналов, приводится экспериментальное подтверждение разработанного алгоритма для частного случая поперечного удара.

Однако при распознавании свободно ударяющей детали среди ее характеристик, кроме скорости в момент удара и величины ее массы, важное значение имеет определение угла наклона удара этой детали. Для решения указанной задачи разработанный алгоритм определения массы по гидродинамической теории ударных волн [7] дополняется вычислением «проникания» детали в массивную пластину и связью «проникания» с основным периодом регистрируемого сложного сигнала по теории удара Герца [4].

Полный алгоритм распознавания массы свободно ударяющей детали, ее скорости в момент удара и угла наклона имеет вид

$$U_{n0} = \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_0(1 - \rho_0/\rho)}} \quad , \quad U_n = \frac{\rho_0}{\rho} U_{n0} \quad , \quad (1)$$

$$U_\tau = \frac{\rho U_n^2}{\sqrt{2\rho_0\rho U_n^2 + \rho_0^2 U_{n0}^2}} \quad \text{при} \quad \beta = 90^\circ, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & U_\tau^4 - 2\left(1 + \frac{\rho}{\rho_0}\right) U_n \operatorname{ctg} \beta t^3 + \\ & + \left[2 \frac{\rho}{\rho_0} U_n^2 \operatorname{ctg}^2 \beta - \left(1 + \frac{\rho}{\rho_0}\right)^2 U_n^2 + \frac{U_{n0}^2}{\sin^2 \beta} \right] U_\tau^2 + \\ & + 2 \frac{\rho}{\rho_0} \left(1 + \frac{\rho}{\rho_0}\right) U_n^3 \operatorname{ctg} \beta U_\tau - \frac{\rho^2}{\rho_0^2} U_n^4 \operatorname{ctg}^2 \beta = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{при } 0 < \beta < 90^\circ,$$

$$U_\tau = \sqrt{\left(1 + \frac{\rho}{\rho_0}\right)^2 U_n^2 - U_{n0}^2} \quad \text{при} \quad \beta = 90^\circ, \quad (4)$$

$$m_{oT} =$$

$$\begin{aligned} & = \frac{0,0018\pi^{1/3} \tau [U_\tau \cos \beta + U_n \sin \beta]^{4/3} T^{8/3}}{g^{1/3} [U_{\tau 0} \cos \beta + U_{n0} \sin \beta + \sqrt{U_{n0}^2 + U_{\tau 0}^2}]^{2/3} \left[\frac{\cos \beta}{U_{\tau 0}} + \frac{\sin \beta}{U_{n0}} + \frac{\sqrt{U_{n0}^2 + U_{\tau 0}^2}}{U_{\tau 0} U_{n0}} \right]^{2/3}}, \quad (5) \end{aligned}$$

$$m_{oT,0} - 0,01 < m_{oT} < m_{oT,10} + 0,01, \quad (6)$$

$$r = 0,38T \sqrt{\frac{\tau}{\rho_0}}, \quad S_{\text{эKB}} = 0,76\pi \sqrt{0,02m_{oT} \pi g \tau},$$

$$w_{\max} = \frac{2m_{oT}g}{S_{\text{эKB}}}, \quad h = 30 w_{\max}, \quad (7)$$

$$m = \rho_0 \pi r^2 h, \quad m_{\text{эKB}} = 0,01m, \quad m_B = \frac{2m_{\text{эKB}} [U_\tau \cos \beta + U_n \sin \beta]}{U_{\tau 0} \cos \beta + U_{n0} \sin \beta + \sqrt{U_{n0}^2 + U_{\tau 0}^2}},$$

$$U_{\tau 0, T} = \frac{m_B U_{\tau 0}}{m_{oT}}, \quad (8)$$

$$\alpha_m = \left[\frac{15\pi 5\pi (4_0)^{1/6} U_{\tau 0, T}^2 (\delta_1 + \delta_2) m_{oT}^{5/6}}{16\sqrt{R}} \right]^{0,4}, \quad (9)$$

$$\frac{1}{T} = \frac{0,17U_{\tau 0,T}}{\alpha_m}, \quad (10)$$

где ΔP – разность давлений сжатой и невозмущенной сред (сталь); ρ – значение плотности сжатого состояния среды, определяемое из гидростатической компрессионной кривой; T – значение основного периода, определяемое из преобразования Фурье сигнала, получаемого вследствие удара; β – угол наклона удара; $\vec{U}_{n0}$, $\vec{U}_n$ – векторы нормальной составляющей скорости ударной волны (УВ) перед и за фронтом; $\vec{U}_\tau = \vec{U}_{\tau 0}$ – векторы тангенциальной составляющей скорости УВ за и перед фронтом соответственно; ρ_0 – плотность невозмущенного состояния среды; τ – предельное значение текучести материала механической мембраны, получаемое вследствие удара; m_{0T} – искомое значение величины массы; r – радиус мембраны; $S_{\text{экв}}$ – эквивалентная упругость мембраны; w_{max} – максимальное динамическое перемещение или толщина мембраны; h – толщина возбужденного слоя в среде; m , $m_{\text{экв}}$ – реальная и эквивалентная масса мембраны; m_b – "масса" УВ; $U_{\tau 0,T}$ – скорость ударающего тела в момент удара; α_m – сжатие; $\delta_1 = \frac{1-\mu_1^2}{E_1\pi}$, $\delta_2 = \frac{1-\mu_2^2}{E_2\pi}$; μ_1 , μ_2 –

соответственно коэффициенты Пуассона для ударающего предмета и пластин; E_1 , E_2 – модули упругости предмета и пластины (сталь).

На основе алгоритма (1)-(10) при входных величинах ΔP , T (определяемых из преобразования Фурье сигнала, получаемого вследствие удара и регистрируемого датчиком диагностической системы СОССП) и ρ (определяемой из гидростатической компрессионной кривой) вычисляем выходные величины U_{n0} , U_n , U_τ , m_{0T} , r , $S_{\text{экв}}$, w_{max} , h , m , $m_{\text{экв}}$, m_b , $U_{\tau 0,T}$, α_m как функции угла β .

Угол наклона β определяется по следующему методу. Наряду с входными величинами ΔP , T , ρ задается искомый угол от $\beta = 0^\circ$ до $\beta = 90^\circ$ с шагом 10° , и для каждого значения β вычисляются все выходные величины. Затем на основании (10)

составляется разность $\left| \frac{1}{T} - \frac{0,17U_{\tau 0,T}}{\alpha_m} \right| = df = |f - f_{\text{herz}}|$ для каждого значения угла β . После

этого сравниваются все значения df . Наименьшее значение df , которому соответствует угол наклона β , будет искомым значением угла наклона удара детали.

Как следует из (3), при одних и тех же входных величинах существует несколько вычисляемых значений U_τ в зависимости от соотношений коэффициентов уравнения (3) и тем самым несколько значений величины массы m_{0T} . Многозначность вычисляемой величины массы ударающей детали снижается с помощью ограничения (6), которое следует из реальных условий задачи.

На основании алгоритма (1) – (10) составлена программа «УГОЛ», результаты функционирования которой приведены ниже.

Таблица
Оценка угла наклона

$T= 1,180e-04 \quad f= 8,475e+03$			$T= 1,340e-04 \quad f= 7,463e+03$		
beta	f_hertz	d_f	beta	f_hertz	d_f

40	6726,05	1748,53	40	6385,18	1077,50
50	6664,73	1809,85	50	6214,85	1247,84
60	6496,57	1978,00	60	6223,89	1238,79
60	5933,32	2541,25	60	5582,48	1880,21
70	5964,49	2510,09	70	5628,40	1834,29
80	5994,71	2479,87	80	5711,22	1751,47
90	6793,94	1680,63	90	6395,93	1066,76
$T= 1,920e-04 \quad f= 5,208e+03$			$T= 1,800e-04 \quad f= 5,556e+03$		
beta	f_hertz	d_f	beta	f_hertz	d_f

40	4588,86	619,47	40	5132,79	422,76
60	4012,10	1196,23	60	4495,47	1060,08
70	4025,52	1182,82	70	4532,24	1023,32
80	4071,29	1137,04	80	4597,22	958,34
90	4597,20	611,13	90	5158,27	397,28

Как видно из таблицы, при всех значениях T , а также при $\beta = 0...90$ наименьшее значение df соответствует углу $\beta = 90^\circ$, которое является искомым.

Искомое значение $\beta = 90^\circ$, которое находится алгоритмическим путем, подтверждается реальными экспериментами, проведенными на трубопроводах I – го контура блока №2 Армянской АЭС в определенных местах заданных поперечных ($\beta = 90^\circ$) ударов.

Отметим, что указанный алгоритм распознавания угла наклона удара дает правильные результаты для значений: $40^\circ < \beta \leq 90^\circ$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Система звукового контроля утечек (ALUS) Siemens. 1988.
2. Система наблюдения за корпусным шумом (KUS) Siemens. 1988.
3. Система наблюдения за вибрациями (SUS) Siemens. 1988.
4. Гольдсмит В. Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел. - М.: Стройиздат, 1965. - 180 с.
5. Методика обработки и анализа БИ для систем СКТ и СОССП: Научно-технический отчет / ВНИИАЭС. – М., 1997. – 35 с.
6. Результаты базовых измерений по СОССП. Методика, обработка, анализ, оценки БИ и результаты: Научно-технический отчет / Ин-т "Арматом". - Ереван, 1997. – 40 с.
7. Разработка и проверка алгоритма и программы определения массы по гидродинамической теории ударных волн: Отчет о научно-исследовательской работе / Ин-т «Арматом» - Ереван, 1999.- 60 с.

НИИ «Арматом».

Материал поступил в редакцию 10.03.1999.

Վ.Գ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Ռ.Ռ. ԳՅՈՒԼԲՈՒԴԱԴՅԱՆ

ԶԶԷՌ - 440 ԲԼՈԿԻ ԱԹԱՀՀ ԱԽՏՈՐՈՇՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒՄ

ԴԵՏԱԼԻ ՀԱՐՎԱԾԻ ԹԵՔՈՒԹՅԱՆ ԱՆԿՑԱՆ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ

ԱԼԳՈՐԻԹՄ

Մշակված է հարվածող դետալի մասսայի, հարվածի պահին նրա արագության, ինչպես նաև թեքության անկյան ճանաչման և գնահատման ալգորիթ: Առաջարկված ալգորիթմը աշխատում է Հայկական ԱԷԿ - ի N 2 բլոկում գործող ԱԹԱՀՀ (ազատ և թույլ ամրացված առարկաների հայտնաբերման համակարգ) ախտորոշման համակարգում:

V.G. PETROSSYAN, R. R. GYULBUDAGHYAN

ALGORITHM AND EVALUATION OF IMPACTING PART'S SLOPE IN THE LDPMS OF VVER – 440 TYPE REACTORS

Based on the hydrodynamic theory of impact waves and the Hertz theory of impact, a new algorithm of identification and evaluation of loose and detached part's mass and its speed at the moment of impact is developed. The proposed algorithm works in the diagnostic LDPMS, which functions on the Unit 2 of the Armenian Nuclear Power Plant.