

ГРАДУИРОВКА ШПИЛЕК ОБОРУДОВАНИЯ РЕАКТОРНОЙ УСТАНОВКИ С ВВЭР-1200

А.Е. Геронтьев, Д.Е. Алексеев, А.Г. Конюшков

При сравнении результатов градуировки шпилек узлов уплотнений люков ПГВ-1000 (шпильки М48, М52 и М60) и шпилек узла уплотнения блока ТЭН КД (шпильки М36), изготовленных из стали 38ХНЗМФА, с результатами расчетов коэффициентов податливостей шпилек в соответствии с «Нормами расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок ПНАЭ Г-7-002-86» при $E = 215$ ГПа выявлены значительные расхождения (до 40%) экспериментальных и расчетных значений коэффициентов податливостей шпилек (расчетные значения податливостей шпилек меньше экспериментальных).

В новых проектах ПГВ при определении проектных значений вытяжек шпилек используются результаты градуировки шпилек, однако в расчетах по выбору основных размеров узлов уплотнений блоков ТЭН КД, люков-лазов КД, САОЗ и других емкостей РУ с прокладками из ТРГ при определении вытяжки шпилек используется расчетная методика.

При меньшем расчетном значении коэффициента податливости шпилек усилие начальной затяжки шпилек при одном и том же измеряемом удлинении шпилек будет меньше проектного значения, определенного из условия нераскрытия межпрокладочного стыка узла уплотнения с прокладками из ТРГ, гарантирующего его герметичность.

Целями испытаний являлись:

- определение податливостей и модулей упругости шпилек люка-лаза ПГВ-1200 и люка-лаза емкости САОЗ, используемых в новых проектах РУ с ВВЭР-1200;
- определение податливостей и модулей упругости шпильки, используемой ранее при стендовых испытаниях узла уплотнения люка-лаза ПГВ-1000;
- определение адекватных зависимостей податливостей шпилек от их геометрических факторов для шпилек, изготовленных из стали 38ХНЗМФА.

Градуировка шпилек с определением их податливостей и определение модулей упругости материала шпилек проводились на прессе гидравлическом, состоящем из верхней неподвижной плиты и нижней неподвижной плиты, которая может перемещаться по высоте относительно стоек с помощью гаек. Усилие на прессе создавалось с помощью камеры герметичной, которая устанавливалась на неподвижную плиту при испытании шпилек на растяжение и на плиту подвижную при испытании шпилек на сжатие (при определении модулей упругости материала шпилек). Давление в камере герметичной прессы создавалось с помощью насоса Haskel MS-110 и измерялось с помощью образцового манометра МО 0-250 с диапазоном измерения $(0 - 250)$ кгс/см² и классом точности 0,4.

Предварительно камера герметичная пресса градуировалась с помощью динамометра ДОСМ-3-500, размещаемого между неподвижной плитой прессы и камерой герметичной, установленной на подвижную плиту прессы.

Вытяжка (удлинение) шпилек при их градуировке на прессе измерялась с помощью индикатора перемещения типа 2МИГ с диапазоном измерения $(0-2)$ мм и погрешностью измерения 0,003 мм в диапазоне измерения 0,4 мм. Индикатор перемещения закреплялся неподвижно на верхнем торце шпильки с помощью оправки с цанговым захватом.

Градуировка шпилек заключалась в ступенчатом нагружении и разгрузении шпилек с измерением усилия в шпильке и ее вытяжки на каждой ступени.

При определении модуля упругости материала шпильки на стержне шпильки с помощью отжимных винтов закреплялись планка верхняя и планка нижняя. На планке верхней закреплялись два индикатора перемещения типа 2МИГ, стержни которых закреплялись на планке нижней.

Из результатов испытаний следует:

- модули упругости шпилек отличаются от $E = 215$ ГПа /1/ в пределах 5%, однако это отличие не является определяющим фактором, влияющим на отличие в градуировочных коэффициентах испытанных шпилек люков-лазов ПГВ;

- основным определяющим фактором является посадка в резьбовых соединениях, влияющая на податливость резьбы. Так при стендовых испытаниях люка-лаза ПГВ-1000 применялись шпильки с полем допуска 8g, а при градуировке новых шпилек использовалась шпилька люка-лаза ПГВ и шпилька люка-лаза САОЗ с полем допуска 6g.

В оборудовании РУ с ВВЭР-1200 применяются резьбовые соединения со шпильками из стали 38ХНЗМФА с посадками 6H/6g, для которых целесообразно податливость шпилек определять по нижеследующей формуле при $N = 16$ и $E = 215$ ГПа:

$$\lambda_w = \frac{A + NS/A_p}{E},$$

где $A = \frac{4}{\pi} \left(\frac{l}{d_w^2 - d_o^2} + \frac{l_6 - l}{d_2^2 - d_o^2} \right)$ - геометрический параметр шпильки;

N – количество рабочих витков в резьбовом соединении;

S – шаг резьбы шпильки;

$A_p = \pi(d_2^2 - d_o^2)/4$ – площадь поперечного сечения резьбы шпильки;

E – модуль упругости материала шпильки;

l – длина стержня шпильки;

l_6 – базовая (свободная) длина шпильки;

d_w – диаметр стебля шпильки;

d_o – диаметр отверстия в шпильке;

$d_2 = d - 0,65 \cdot S$ – средний диаметр резьбы шпильки.