

3. Мишин В.М., Филиппов Г.А. Критерий и физико-механическая характеристика сопротивления стали замедленному разрушению // Деформация и разрушение материалов. – 2007. – № 3. – С. 37–42.

**УЧЕТ СМЕЩЕНИЙ В ПРИКРЕПЛЕНИЯХ ЭЛЕМЕНТОВ НАДСТРОЕК И СТЫКАХ ПЛАШКОУТОВ ПЛАВУЧИХ ОПОР**

Должиков В.Н., Должикова Е.Н.

Сочинский государственный университет, Сочи,  
e-mail: doljikov\_v@mail.ru

Применение инвентарных конструкций вспомогательных опор при строительстве мостов резко снижает расход лесоматериалов, уменьшает затраты труда и значительно сокращает сроки строительства. С учетом большого объема работ по изготовлению и монтажу вспомогательных сооружений создан и постоянно увеличивается и совершенствуется парк мостостроительных инвентарных конструкций, основное условие рационального использования которого – комплектация экономичных временных конструкций при многократной оборачиваемости элементов.

К инвентарным конструкциям относятся также понтоны типа КС, используемые в качестве элементов плавучих средств различного назначения, в частности плавучих опор для перевозки и монтажа пролетных строений.

Условия применения и принципы проектирования вспомогательных сооружений из инвентарных конструкций определяют ряд особенностей работы этих сооружений. К этим особенностям относятся податливость фундаментов стационарных опор, взаимодействие надстроек и плашкоутов плавучих опор, влияние на напряженное состояние надстроек усилий от жесткости узлов, а также перераспределение усилий в системах от податливости узлов и соединений, выполняемых с целью облегчения монтажа, на высокопрочных болтах и болтах нормальной точности. Смещения  $\Delta_i$  в болтовых соединениях решетчатых надстроек стационарных опор учитываются посредством замены модулей упругости  $E$  на модули линейной деформации  $E_{ci}$  элементов, определяемых через модули деформации болтовых соединений в начале  $E_{c1i}$  и в конце  $E_{c2i}$   $i$ -го элемента.

Модуль деформации болтового соединения  $E_{ci}$  при усилении  $N_i$  в  $i$ -м элементе запишется как [2, с. 78]:

$$E_{ci} = \frac{N_i}{\Delta_i} = \frac{T_i + S_i(\Delta_{cm})}{u + v + \Delta_{cm}}, \quad (1)$$

где  $T_i$  – сила трения в соединении  $i$ -го элемента, определяемая по формуле:

$$T = N_n f(b_0 + b_1 \Delta_{cm}), \quad (2)$$

где  $N_n$  – нормативное усилие натяжения болта;  $f$  – коэффициент трения;  $b_0, b_1$  – эмпирические параметры.

$S_{i(\Delta)}$  – эмпирическая зависимость при работе соединения на смятие [1, с. 37];

$$S(\Delta) = (C_1 \delta + C_2 \delta^2) \Delta + (C_3 \delta + C_4 \delta^2) \Delta^2, \quad (3)$$

$u$  – сдвиг соединения на разность номинальных диаметров болта и отверстия;

$v$  – допускаемые отклонения от номинальных диаметров болта и отверстия;

$\Delta_{cm}$  – неупругая деформация смятия.

Для соединения на высокопрочных болтах, в случае использования последних как несущих при сборке надстроек из МИК-С, сила трения  $T_i$  определяется по формуле (2).

Изменение  $\Delta l_i$  расстояний между центрами узлов  $i$ -го элемента определяется как сумма упругой деформации  $\Delta l_{yi}$  и смещений в креплениях  $\Delta_{1i}$  и  $\Delta_{2i}$

$$\Delta l_i = \Delta l_{yi} + \Delta_{1i} + \Delta_{2i}$$

или

$$\Delta l_i = N_i \left( \frac{l_i}{EF_i} + \frac{1}{E_{c,1i}} + \frac{1}{E_{c,2i}} \right). \quad (4)$$

Отсюда находим модель линейной деформации  $i$ -го элемента

$$E_{ci} = \frac{l_i EE_{c,1i} E_{c,2i}}{EF_i E_{c,1i} + EF_i E_{c,2i} + l_i E_{c,1i} E_{c,2i}}. \quad (5)$$

Модуль линейной деформации соединения, характеризующийся углом  $L_p$ , является величиной переменной.

Из диаграммы видно, что сдвиги в болтовых соединениях начинаются после преодоления сил трения.

Силы натяжения болтов нормальной точности и силы трения между соединяемыми элементами невелики и не контролируются при сборке надстроек. Поэтому нельзя предусмотреть при каком усилии в соединениях элементов начнутся и в какой последовательности они будут происходить. Исходя из этого и в целях упрощения задачи с учетом смещений в болтовых соединениях можно использовать диаграмму нагружения соединения [2, с. 78], учитывающую сдвиг на разность диаметров болта и отверстия в начале загрузки элемента. Данная предпосылка исходит из того, что в реальных конструкциях усилия в элементах, как правило, превышает силу трения в соединении. Усилие, передающееся через смятие, определяют по [1, с. 37].

Допуская, что величины смещений в соединениях в начале  $\Delta_{1i}$  и конце  $\Delta_{2i}$   $i$ -го элемента одинаковы, модуль деформации элемента будет определять по формуле:

$$E_{ci} = \frac{l_i EE_{ci}}{2EF + l_i E_{ci}}. \quad (6)$$

Расчет ведется методом итераций с поэтапным уточнением усилий в элементах. Итерационный процесс можно выполнять также уточняя

напряжения  $\sigma_i$  в  $i$ -том элементе. В этом случае формула для определения модуля деформации будет иметь вид:

$$E_{zi} = \frac{E}{\frac{2E\Delta_i}{l_i\sigma_i} + 1}. \quad (7)$$

В первом приближении значения  $E_{zi}$  определяются по напряжениям в конструкции с несмещающимися узлами.

Сдвиги в болтовых соединениях понтонных учитываются посредством введения упругих шарниров вместо болтовых соединений с коэффициентами жесткости  $K_i$ . Значения коэффициентов жесткости определяются по формуле:

$$K_i = \frac{M_i}{\alpha_i}, \quad (8)$$

где  $M_i$  – момент в  $i$ -м шарнире;  $\alpha_i$  – угол раскрытия  $i$ -го шарнира.

Угол раскрытия  $\alpha$ , образовавшийся в результате неупругих взаимных поворотов двух понтонных в каждом стыке определяется как:

$$\alpha = \frac{2(u + v + \Delta_{cm})}{h}, \quad (9)$$

где  $h$  – высота плашкоута.

С учетом (9) и (3) формула (8) для определения коэффициента жесткости принимает вид:

$$K = \frac{nh^2 \left[ (c_1\delta + c_1\delta^2)\Delta_{cm} + (c_3\delta + c_4\delta^2)\Delta_{cm}^2 \right]}{(2u + v + \Delta_{cm})}. \quad (10)$$

Задача решается итерационным методом с поэтапным уточнением значений  $K_i$ . В качестве первого приближения значения коэффициента жесткости  $K_i$  определяется в зависимости от момента  $M_i$  в  $i$ -м стыке, определенном без учета смещений в соединениях понтонных. В результате исследований выявлено, что учёт смещений в соединениях понтонных приводит к существенному изменению усилий в плашкоуте, а именно, к уменьшению изгибающего момента и увеличению поперечной силы. Смещения в стыках плашкоута значительно увеличивают усилия в крайних стойках надстройки и уменьшают с изменением знака в средних.

#### Список литературы

1. Вейнблат Б.М., Бунеев Г.И. Расчёт сооружений с несущими высокопрочными болтами // – Тр. МАДИ. – 1975. – Вып. 77. – С. 37–42.
2. Должиков В.Н. Влияние смещений в соединениях на распределение усилий в элементах вспомогательных опор // Материалы научн.-техн. конф. молодых ученых / МАДИ. – ВНИИИС. – М., 1980. – № 1993. – С. 78–81.

#### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОРОГОВОГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В НАНООБЛАСТИ ЗАМЕДЛЕННОГО РАЗРУШЕНИЯ СТАЛИ

Шиховцов А.А., Мишин В.М.

Северо-Кавказский федеральный университет, Пятигорск,  
e-mail: mishinvm@yandex.ru

Одним из Приоритетных направлений развития науки и «критических» технологий является компьютерное моделирование нанотехнологий [1], к которым относится изучение условий зарождения нанотрещины при замедленном хрупком разрушении (ЗХР) высокопрочной стали. Весь процесс ЗХР контролируется стадией зарождения нанотрещины на границе зерна, охрупченной областями объемного растяжения и сегрегациями охрупчивающих примесей фосфора, серы и др. [2]. Полагали, что для анализа условий зарождения нанотрещины на границе зерна применим метод компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния – метод конечных элементов (МКЭ).

Целью работы являлось создание подхода к оценке новой характеристики прочности – порогового локального напряжения для случая замедленного разрушения стали.

Испытания на ЗХР проводили на стали 18Х2Н4ВА по методике [2]. Для расчета нанонапряжений в зоне зарождения трещины использовали метод конечных элементов (МКЭ) [2]. В результате была установлена зависимость локальных растягивающих напряжений  $\sigma_{11max}$  от времени до разрушения. При замедленном разрушении значение порогового локального растягивающего напряжения  $\sigma_{11порог}$  соответствует минимальному локальному напряжению зарождения нанотрещины. Таким образом, разработан подход к оценке новой характеристики прочности – порогового локального напряжения для случая замедленного разрушения высокопрочной стали.

#### Список литературы

1. Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологии и техники в РФ и перечня критических технологий РФ: указ Президента РФ. № 899 07.07.2011.
2. Мишин В.М., Филиппов Г.А. Критерий и физико-механическая характеристика сопротивления стали замедленному разрушению // Деформация и разрушение материалов. – 2007. – № 3. – С. 37–42.