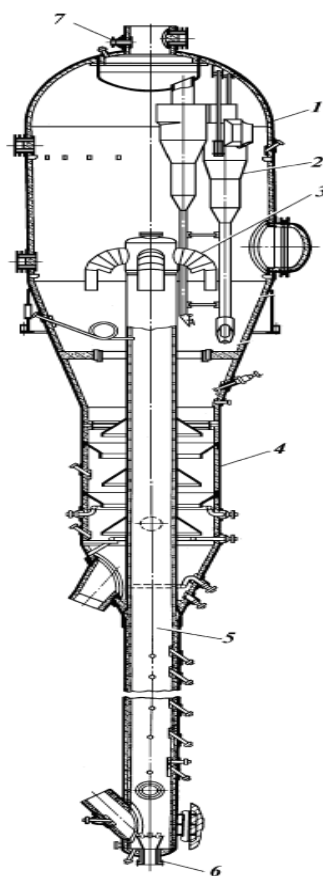


## УСТОЙЧИВОСТЬ УСТАНОВКИ РЕАКТОРА КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА

к.т.н. Куликова М.Г., студ. Поваренкова А.А., студ. Хрисаненкова Т.М.

*Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске  
г. Смоленск, Россия*

Рассмотрим в общем виде конструкцию усовершенствованного реактора установки каталитического крекинга Г43-107 [1], предназначенную для переработки вакуумных дистиллятов (рис.1).



*Рис. 1. Реактор с пылевидным катализатором:*

*1 – корпус, 2 – двухступенчатый циклон, 3 – баллистический сепаратор, 4 – десорбер, 5 – лифт-реактор, 6 – сопло с многочисленными форсунками, 7 – штуцер предохранительного клапана*

При расчете реактора на устойчивость предлагается использовать методику, представленную в работах [2,3]. Решение задачи на исследование устойчивости резервуаров обеспечит надежный технологический процесс.

Проектное положение центра тяжести реактора не должно выходить за рамки ядра сечения и таким образом будет обеспечена необходимая устойчивость и управляемость аппарата на всех режимах работы.

Рассмотрим сечение установки, в котором наиболее вероятно появление напряжений разного знака. Данное сечение находится в верхней части установки выше баллистического сепаратора и захватывает двухступенчатый циклон (рис.2). На двухсту-

пенчатый циклон действуют силы  $P_1$  и  $P_2$ . В центре тяжести на установку действует сила  $P_0$ .

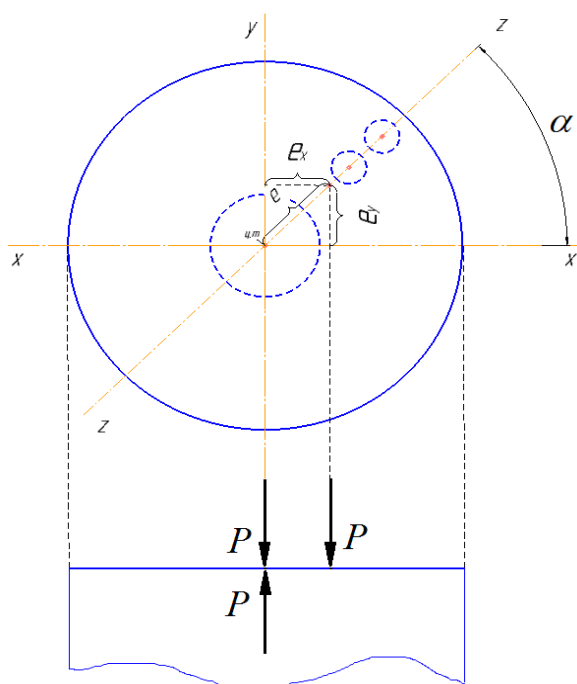


Рис. 2. Сечение рассматриваемой установки

Найдем равнодействующую параллельных сил  $P_1$  и  $P_2$  (рис.3). Для этого предположим, что точка  $O$  – точка приложения равнодействующей силы, тогда  $\sum m_o(\vec{F}_k) = 0$ ;  $P_1 d_1 - P_2 d_2 = 0$ . Из подобия треугольников следует, что  $\frac{d_1}{d_2} = \frac{r_1}{r_2}$ ;  $\frac{P_2}{P_1} = \frac{r_1}{r_2}$ . Величина равнодействующей:  $P_{12} = P_1 + P_2$ .

Аналогично находим равнодействующую сил  $P_0$  и  $P_{12}$ :  $P = P_0 + P_{12}$ . Следовательно, на установку действуют сжимающая сила  $P$ , приложенная в центре тяжести сечения, вызывает осевое сжатие, а пара сил  $P$  (обозначенных на рис.2 черточками) с моментом  $M = Pe$ , действующим в плоскости  $z-z$ , вызывает косой изгиб, так как эта плоскость расположена под углом  $\alpha$  к главной оси инерции сечения  $y-y$  и проходит через ось установки (см. рис.2).

Раскладываем изгибающий момент на два составляющих момента, действующих в плоскостях, совпадающих с главными центральными осями инерции:  $M_x = M \cos \alpha = Pecos \alpha$ ,  $M_y = M \sin \alpha = Pesin \alpha$ .

Тогда  $M_x = Pe_y$ ;  $M_y = Pe_x$ , где  $ecos \alpha = e_y$ , а  $esin \alpha = e_x$ , где  $e_x$  и  $e_y$  есть координаты точки приложения силы  $P$  относительно главных осей инерции.

Таким образом, получаем сложное сопротивление аппарата, подверженного одновременному действию осевого сжатия и изгибам по двум взаимно перпендикулярным плоскостям, совпадающим с главными центральными осями инерции сечения.

В соответствии с принципом независимости действия сил полное нормальное напряжение в любой точке сечения определяется алгебраическим сложением напряжений [1]:

$$\sigma_{max} = \frac{P}{F} \pm \frac{Pe_y}{\left(\frac{J_x}{y_{max}}\right)} \pm \frac{Pe_x}{\left(\frac{J_y}{x_{max}}\right)}, \quad (1)$$

где  $J_x$  и  $J_y$  – осевой момент инерции относительно оси  $Ox$  и  $Oy$  соответственно.

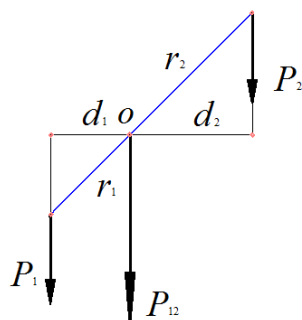


Рис. 3. Равнодействующая сил действующих на циклон

Для обеспечения прочности тела, работающего в общем случае на внецентренное сжатие или растяжение, необходимо, чтобы максимальное растягивающее или сжимающее напряжение не превышало соответствующего расчетного сопротивления. При этом формула прочности примет общий вид:

$$\sigma_{max} = \frac{P}{F} \pm \frac{Pe_y}{W_x} \pm \frac{Pe_x}{W_y} \leq R \quad (2)$$

Для построения эпюры напряжения воспользуемся нулевой линией. Моменты инерции можно выразить через радиусы инерции  $r_x$  и  $r_y$ .

Отрезки, отсекаемые нулевой линией на осях координат, определяются по формулам

$$a = -\frac{r_y^2}{r_p}, \quad b = -\frac{r_x^2}{y_p} \quad (3)$$

Откладывая эти отрезки на осях, получают две точки, через которые проводят нулевую линию. После этого строят эпюру напряжений. Возможны три случая расположения нулевой линии. В первом случае нулевая линия проходит через сечение, следовательно, сечение работает на растяжение и сжатие. Во втором – нулевая линия касается сечения, а значит, оно работает на сжатие. В третьем, нулевая линия проходит за пределами сечения, а это означает, что все сечение работает только на сжатие.

При проектировании аппаратов из материалов, которые не работают или плохо работают на растяжение, основным требованием является отсутствие растягивающих напряжений. В связи с этим необходимо, чтобы нулевая линия проходила за пределами сечения или касалась его, тогда все сечение будет только сжато. [2]

Для каждого сечения можно всегда отыскать такую точку приложения продольной сжимающей силы  $P$ , при которой нулевая линия будет касаться сечения.

Для достижения этой цели строится ядро сечения – часть сечения, ограниченная контуром вокруг центра тяжести, в пределах которого можно располагать точку приложения продольной силы, не вызывая в сечении напряжений разного знака. При приложении продольной силы за пределами ядра сечения нулевая линия пройдет через сечение, разделяя его на две части, из которых одна работает на сжатие, а другая – на растяжение. Если точка приложения продольной силы находится на границе контура, то нулевая линия веером окружает сечение, прикасаясь к нему со всех сторон, но нигде не зайдет на сечение, а если точка приложения продольной силы находится внутри контура, то нулевая линия удалится от сечения и все сечение будет равномерно сжато (растянуто) [2].

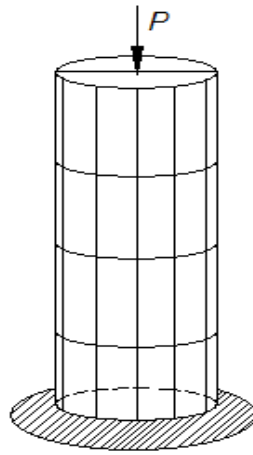


Рис. 4. Резервуар без крышки

Рассмотрим представленный резервуар реактора в виде цилиндрической оболочки, подверженной воздействию осевого сжимающего усилия  $P$  (рис.4). В таких случаях нельзя применить обычные формулы Эйлера для определения критической силы  $P_{кр}$ . В данном случае предлагается для построения эпюры напряжений и получения ядра сечения использовать прием, указанный в работе [4] для определения критической силы в виде  $P_{кр} = P' \cdot \frac{\beta}{1 + \beta}$ , где  $\beta = \frac{P''}{P'}$ ,  $P'' = \frac{\pi^2 EJ}{4\ell^2}$ ,  $P' = 2KEh^2 \pi$ ,  $J = \pi R^3 h$ ,  $\ell$  - длина оболочки,  $K = \frac{1}{\sqrt{3}}$ ,  $h$  - толщина оболочки,  $R$  - радиус оболочки. В дальнейших исследованиях авторов предполагается определить ядро сечения для подобных вертикальных резервуаров, находящихся под действием осевого сжимающего усилия  $P = P_{кр}$ .

#### РЕЗЮМЕ

Исследуются вертикальные резервуары на статическую устойчивость. Получены формулы для расчета вертикальных резервуаров на устойчивость при продольном изгибе для внецентренного нагружения. Рассмотрены возможные случаи определения опасного сечения установки реактора каталитического крекинга на растяжение или сжатие.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Скобло, А.И. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: учебник для вузов / А.И. Скобло, Ю.К. Молоканов, А.И. Владимиров, В.А. Щелкунов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 677 с.
2. Иванов, И. Я. Строительная механика / И.Я. Иванов; под ред. А. П. Мартынова. М.: Высшая школа, 1965. – 431с.
3. Куликова, М.Г. Исследование устойчивости вертикальных резервуаров / М.Г. Куликова, А.А. Поваренкова // «Энергетика, информатика, инновации -2015. 5 Международная научно-техническая конференция». – Смоленск. 2015.
4. Безухов, Н.И. Устойчивость и динамика сооружений в примерах и задачах// Безухов Н.И., Лужин О.В., Колкунов Н.В. – М.: Высшая школа, 1987. – 260 с.

#### SUMMARY

*The work has reviewed the problem of stability high vertical tanks. The solution of the problem is reduced to the analysis of the forces acting on the installation and building plots of stress in dangerous section.*

**E-mail:** [kulikova0808@rambler.ru](mailto:kulikova0808@rambler.ru)

Поступила в редакцию 21.10.2015