

## СЛУЧАЙ ПОВРЕЖДЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ПОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

*Матус Ю.В.*

Рассмотрены повреждения фундаментов сепаратора комплекса гидроочистки нефтеперегонного завода и приведен анализ причин, приведших к повреждениям.

Сепаратор V-102 комплекса гидроочистки АООТ ОНПЗ — стационарного типа, стальной, горизонтальный, цилиндрический со сферическими днищами с двумя расположенными на расстоянии 8,75 м друг от друга, стальными седловыми опорами, каждая из которых установлена на отдельном фундаменте. Наружная поверхность сепаратора имеет термоизоляцию (при работе комплекса гидроочистки температура продукта в сепараторе составляет 270°C).

Фундаменты сепаратора — столбчатые, железобетонные, монолитные. Бетон класса В 20, W 6. Каждый из двух фундаментов конструктивно состоит из двухступенчатой (высота каждой из ступеней 0,45 м) фундаментной плиты и подпорной части призматической формы, выполненных единым блоком. Размеры горизонтальных сечений фундамента: нижней ступени — 3,9 × 4,2 м; верхней ступени — 3,9 × 2,4 м; подпорной (надплитной) части — 3,2 × 0,45 м (здесь последние размеры параллельны продольной оси сепаратора). Высота фундамента — 2,75 м, глубина заложения подошвы (от поверхности бетонного покрытия площадки комплекса) — 1,65 м. На контакте одной из седловых опор с фундаментом выполнен шов, дающий возможность горизонтального перемещения этой опоры по плите скольжения, установленной на верхней грани подпорной части фундамента. Крепление сепаратора к каждому фундаменту осуществлено четырьмя анкерными болтами диаметром 24 мм.

Нагрузки (с коэффициентом надежности  $\gamma_f = 1,0$ ), приложенные к фундаменту на уровне его верха: вертикальные —  $N_{\min} = 436$  кН;  $N_{\text{г.н}} = 997,5$  кН;  $N_{\text{раб}} = 716$  кН; горизонтальные, действующие по оси  $x$ , перпендикулярной продольной оси сепаратора, —  $H_{x \min} = \pm 1,2$  кН;  $H_{x \text{раб}} = \pm 6$  кН;  $H_{x \text{раб}} = \pm 1,2$  кН; горизонтальные, действующие по оси  $y$ , перпендикулярной  $x$ , —  $H_y = \pm 164$  кН; моменты —  $M_{x \min} = \pm 25,5$  кНм;  $M_{x \text{раб}} = \pm 12,75$  кНм;  $M_{x \text{раб}} = \pm 25,5$  кНм. Нагрузки от трубопроводов приняты в проекте равными 15% от значений нагрузок, действующих на фундамент при гидроиспытаниях и эксплуатации.

Работа фундаментов сепаратора с грунтовым основанием практически полностью обусловлена их взаимодействием с несущим слоем — суглинком лессовидным желто-бурым, маловлажным и влажным с  $\rho_d = 1,46 \text{ г/см}^3$ ,  $W = 0,143 \dots 0,202$ ,  $\varphi = 25^\circ 27'$ ,  $c = 17,5 \text{ кПа}$ ,  $E = 20 \text{ МПа}$ . Грунтовые условия площадки относятся к I типу по просадочности.

При эксплуатации комплекса на рабочем режиме среднее давление под подошвой фундамента равно 86 кПа, давление под углами изменяется от 46 до 125 кПа. Горизонтальная нагрузка, приложенная к фундаменту, составляет 63% от силы трения подошвы фундамента о грунтовое основание (при коэффициенте трения  $f = 0,25$ ).

В октябре 1996 г, после двухлетней непостоянной эксплуатации комплекса гидроочистки, в процессе обследования были выявлены трещины с шириной раскрытия до 1,0 мм, расположенные на гранях подпорных частей фундаментов. Участки трещинообразования располагались по вертикали между верхним обрезом фундамента и уровнем, расположенным ниже его на 0,9 м. На вертикальных гранях подпорных частей форма трещин носила параболический (с вершиной параболы вниз) характер. Вверху на горизонтальной грани фундамента выходы обеих ветвей параболической трещины соединялись друг с другом трещиной небольшой кривизны. Таким образом, обнаруженные трещины снаружи имели замкнутый характер. Наибольшее повреждение имела подпорная часть у фундамента с плитой скольжения как на ее внешней, так и на торцевых гранях. У второго фундамента сепаратора повреждения были зафиксированы на внутренней грани (на участке «середина грани — вертикальное ребро») и на примыкающей к упомянутому ребру торцевой грани. Здесь вертикальные грани подпорных частей фундаментов, перпендикулярные продольной оси сепаратора, если они расположены друг против друга, условно названы внутренними, в противном случае — внешними и остальные — торцевыми.

По свидетельству работников завода первые трещины в подпорных частях фундаментов появились при вводе в эксплуатацию комплекса гидроочистки. Затем был произведен ремонт — инъектирование трещин и затирка поверхностей фундаментов.

Техотделом завода было выдвинуто предложение о том, что причиной повреждения фундаментов является увеличение, по сравнению с проектной, горизонтальной составляющей нагрузки от сепаратора на фундаменты из-за, якобы имеющего место, конструктивного несовершенства шва скольжения, не обеспечивающего должную подвижку седловой опоры в горизонтальном направлении. В связи с чем, было рекомендовано конструктивное усиление металлическими обоймами подпорных частей фундаментов в пределах их высоты и устройства парных металлических горизонтальных связей — затяжек в уровне верха фундаментов, воспринимающих горизонтальную нагрузку

от сепаратора и полностью выключающих фундаменты из работы под этой нагрузкой. Такой подход, на наш взгляд, связан с полным непониманием инженерами-механиками работы железобетона под нагрузкой и, как следствие, недоверием к данному материалу.

Нами было выражено несогласие с выдвинутым предложением в связи с тем, что выявленный характер трещин не свойственен трещинам, связанным с деформацией железобетонного элемента из-за чрезмерных напряжений при изгибе, срезе, кручении или внецентренном сжатии, и высказано убеждение, что, трещинообразование вызвано перепадом температур и усадочными деформациями бетона.

Результаты расчетов показали, что при изменении температуры от  $20^{\circ}\text{C}$  (наиболее вероятная температура при монтаже сепаратора) до  $270^{\circ}\text{C}$ , горизонтальное перемещение седловой опоры относительно плиты скольжения составит 26,5 мм (при коэффициенте линейного расширения стали, равном  $0,0121 \cdot 10^{-3}$ ). Осмотром конструкции шва скольжения установлено, что горизонтальное перемещение седловой опоры указанной величины относительно плиты скольжения безусловно обеспечивается.

В дальнейшем была произведена откопка фундаментов до уровня верхней поверхности фундаментных плит. При этом установлено отсутствие (ниже уровня, отстоящего на 0,9 м от верхнего обреза фундамента) каких либо трещин на вертикальных гранях подпорных частей, в том числе и в месте их заделки в фундаментную плиту. Расчистка мест повреждения показала, что трещины на гранях подпорных частей фундаментов являются следами поверхностей скалывания участков бетона защитного слоя. Причем, там, где участки скалывания имели наибольшую толщину, положение арматуры подпорной части существенно отличалось от проектного — вместо толщины 35 мм толщина защитного слоя доходила до 80 и в отдельных случаях (на торцевых гранях) до 95 мм. Поверхности скалывания практически нигде не заходили вовнутрь сечения за границы бетонного ядра подпорных частей фундаментов. Трещины обнаруженные при обследовании, частично совпали с первичными трещинами, местоположение которых было зафиксировано инъекционным раствором, отличающимся по цвету от бетона фундаментов.

Определенная расчетом несущая способность подпорной части фундамента, как железобетонной консоли постоянной жесткости, в месте заделки ее в фундаментную плиту использована всего лишь на 21%. Но трещины образовались даже не при этом сравнительно низком уровне напряженного состояния, а в непосредственной близости от конца консоли, где напряжение существенно меньше. Кроме того, трещины пересекали только защитный слой, не затрагивая внутреннее бетонное ядро. Все это подтверждало предварительный вывод о том, что причиной

трещинообразования не могут быть деформации подпорных частей, обусловленные действием чрезмерных напряжений.

При схватывании и твердении бетона железобетонный элемент укорачивается и, так как, линейные перемещения элемента ограничены внутренне сопротивлением арматуры, в бетоне возникают и развиваются растягивающие напряжения. Превышение растягивающими напряжениями допустимых значений вызывает появление трещин в элементе. В связи с тем, что защитный слой содержит меньшее количество заполнителя по сравнению с внутренним ядром, усадка защитного слоя больше усадки ядра. Негативную роль играет и неравномерность насыщения арматурой сечения элемента. Таким образом, создаются условия для появления трещин как в самом защитном слое, так и на его контакте с внутренним ядром. Этому способствует и увеличение сверх некоторого предела толщины защитного слоя, в результате чего возрастает степень ослабления связи защитного слоя с ядром железобетонного элемента.

При эксплуатации комплекса, температура продукта, находящегося внутри сепаратора, равна  $270^{\circ}\text{C}$ . Тепло продукта передается через корпус сепаратора на седловую опору и от нее на фундамент. Хотя при этом и происходит значительное снижение температуры, но разница температур верхней и остальной частей фундамента будет весьма существенной. Вследствие этого, в верхней части фундамента развиваются температурные деформации, обусловленные изменением температурного градиента как по сечению, так и по высоте подпорной части фундамента. Температурный градиент, характеризующий изменение интенсивности температурного поля подпорных частей фундаментов, имеет наибольшее значение у их поверхности в двух — трехсантиметровом слое. Разность температур между различными точками железобетонного элемента действует как неравномерная усадка и вызывает трещинообразование, связанное с разрывами бетона из-за разных коэффициентов температурного расширения заполнителя и цемента. Поэтому обычно трудно отличить усадочные трещины от температурных. Когда появление трещин совпадает по времени с резким изменением температурного перепада, последний и является основной причиной трещинообразования, хотя и при этом влияние усадки на возникновение трещин бесспорно. Так как первые трещины в подпорных частях фундаментов сепаратора появились при проведении пуско-наладочных работ на комплексе гидроочистки, то следует считать основной причиной их появления действие температурного градиента.

Выявленные при обследовании повреждения практически не оказывали негативного влияния на прочность и устойчивость фундаментов, но существенно влияли на их долговечность. В связи с чем

и было рекомендовано проведение работ по восстановлению защитного слоя подпорных частей фундаментов.

С целью восстановления защитного слоя предлагалось выполнить усиление подпорных частей обетонированием, путем устройства железобетонных, замкнутых в плане обойм высотой 1,1 м, равной расстоянию по вертикали между верхним обрезом фундамента и поверхностью бетонного покрытия площадки комплекса, и толщиной 80 мм. Армирование обоймы – вязанный пространственный каркас, состоящий из вертикальных стержней ( $\varnothing$  12 А III с шагом 150) и горизонтальных хомутов ( $\varnothing$  6 А I с шагом 150). Бетон обоймы класса В 25, W 6. Толщина защитного слоя 35 мм. Все работы по ремонту фундаментов нами было рекомендовано производить без остановки работы комплекса гидроочистки.

Ремонт был выполнен АОТ ОНПЗ в ноябре 1996 г с остановкой комплекса гидроочистки, с устройством железобетонных обойм на всю высоту (1,85 м) подпорных частей и металлических затяжек в уровне верха фундаментов. В рассматриваемом случае, как было показано выше, устройство затяжек излишне, технически необоснованно и привело к существенному увеличению стоимости и времени ремонта фундаментов.