

ПОСТРОЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИ УСТОЙЧИВОЙ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ НАДЗЕМНОГО ГАЗОПРОВОДА С ОДНОСТОРОННЕЙ СВЯЗЬЮ

Н.В. Дегтярева



Дегтярева Наталья Владимировна
Челябинск, асп. каф. стр. механики ЮУрГУ

Построена расчетная модель надземного газопровода, включающая устройство односторонней связи, предназначенное для гашения резонансных колебаний. Проведен временной анализ при нестационарных воздействиях, исследованы области аэродинамической устойчивости газопровода.

Гибкие сооружения типа надземных газопроводов высокого давления часто подвержены аэродинамической неустойчивости, что проявляется в возникновении опасных вертикальных колебаний. Явление раскачивания газопровода в плоскости, перпендикулярной направлению ветрового потока, обусловлено совпадением частоты срыва вихрей с боковой поверхности трубы с частотой собственных колебаний газопровода. Это может привести к резкому возрастанию амплитуды колебаний и в итоге - к разрушению конструкции.

Несмотря на то, что явление ветрового резонанса достаточно хорошо изучено в специальной литературе [1, 2], вопросы гашения резонансных колебаний надземных газопроводов относятся к технически сложной проблеме, не получившей пока удовлетворительного решения. Частично эти вопросы рассматривались в [3].

В статье предложен способ ограничения ре-

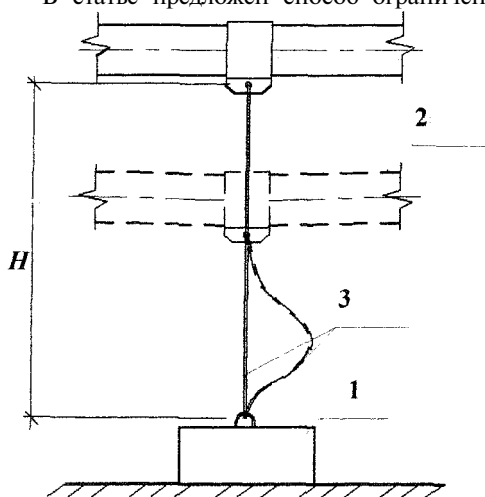


Рис. 1. Устройство гашения колебаний

зонансных амплитуд с помощью устройства, работающего по принципу односторонней связи (рис. 1). Устройство содержит фундаментный блок 1, соединенный с трубой 2 газопровода гибким тросом 3, и устанавливается в одном из пролетов газопровода, расчетная схема которого имеет вид неразрезной балки (рис. 2).

При аэродинамическом воздействии, направленном вниз, труба деформируется согласно расчетной схеме (рис. 2а). В этом случае односторонняя связь выключена из работы, и изгиб трубы соответствует низшей (первой) собственной форме колебаний (пунктирные линии на рис. 1 и 2а). При аэродинамическом возмущении, направленном вверх, труба при обратном движении вызывает натяжение троса, который совместно с фундаментным блоком начинает работать как дополнительная опорная связь. Это приводит к скачкообразному изменению расчетной схемы газопровода и, соответственно, к появлению новой собственной формы колебаний газопровода (рис. 2б).

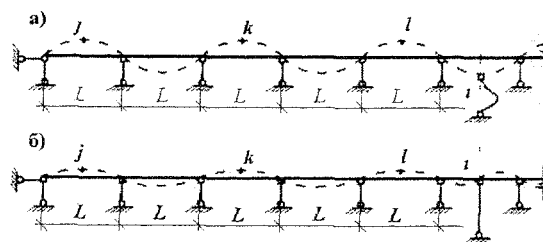


Рис. 2. Расчетная модель надземного газопровода с устройством гашения колебаний:
а - устройство выключено из работы;
б - устройство включено в работу

Таким образом, циклическое включение-выключение односторонней связи в процессе колебаний газопровода сопровождается циклической сменой его собственных форм, каждой из которых соответствует своя собственная частота. При включении односторонней связи в работу низшая собственная форма, отвечающая резонансной частоте ω_1 заменяется следующей по номеру собственной формой с частотой ω_2 , более высокой по сравнению с основным тоном ($\omega_2 > \omega_1$). Данная форма с частотой ω_2 определяет движение системы в течение текущего полупериода (рис. 2б).

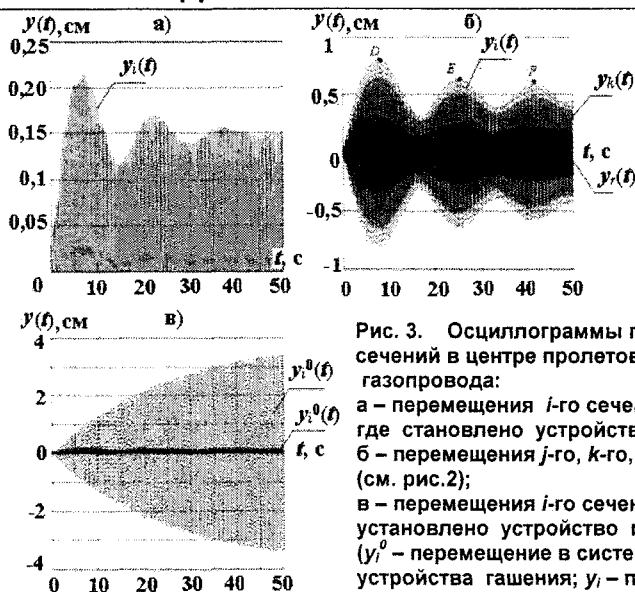


Рис. 3. Осциллограммы перемещения сечений в центре пролетов РДМ газопровода:
 а – перемещения i -го сечения в пролете, где установлено устройство гашения;
 б – перемещения j -го, k -го, l -го сечений (см. рис.2);
 в – перемещения i -го сечения, где установлено устройство гашения (y_i^0 – перемещение в системе без устройства гашения; y_i – перемещение с устройством гашения)

Периодическая смена форм и частот приводит к автоматическому отстраиванию от резонансного режима. Поскольку процесс подавления низшей собственной формы происходит в каждом цикле колебаний, то резонансные амплитуды испытывают постоянные ограничения. Это не допускает развитие резонанса во времени и предопределяет эффективность работы устройства.

Для примера рассмотрен надземный газопровод высокого давления Кузнецкое-Байрамгулово, трасса которого пролегает через Аргаяшский район Челябинской области (труба $\varnothing = 219$ мм, шаг опор $L = 15$ м), где условия эксплуатации характеризуются повышенной аэродинамической активностью.

Динамический расчет выполнялся методом временного анализа, разработанным для дискретных диссипативных систем при нестационарных процессах [4]. Анализ параметров реакции расчетной модели газопровода осуществлялся при $m = 11$, $q = 6$, $L = 15$ м (рис. 3). Устройство гашения колебаний установлено в среднем (шестом) пролете расчетной схемы. Работу устройства можно оценить по осциллограммам перемещений для сечений i , r , k , j в центре пролетов: 6-го (рис. 3а), 5-го, 3-го и 1-го (рис. 3б).

На рис. 3в приведено сравнение осциллограмм перемещений в базовой модели газопровода ($y_i^0(t)$) и в модели с устройством гашения ($y_i(t)$). Видно, что резонансные амплитуды в системе, где нет устройства гашения колебаний, непрерывно возрастают с течением времени. Включение односторонней связи в работу значительно снижает резонансные амплитуды, что свидетельствует об устойчивом характере колебаний. Так, для i -го сечения модели отношение максимальных резонансных амплитуд составило ($t = 50$ с): $y_i^0(t)/y_i(t) = 3,43/0,22 = 15,88$.

По мере удаления от центрального пролета максимальные значения резонансных амплитуд средних сечений возрастают: $y_i(t) = 0,32$ см (5-й про-

лет), $y_k(t) = 0,65$ см (3-й), $y_j(t) = 0,8$ см (1-й) (рис. 3б). Нумерация пролетов – слева направо и соответствует расчетной схеме, приведенной на рис. 2.

Несмотря на рост амплитуд, все волнообразные *огibaющие* резонансных амплитуд имеют максимальные значения перемещений для первой волны (точка D на осциллограмме перемещений j -го сечения (рис. 3б)). В последующих волнах экстремумы (точки E и F на рис. 3б) на *огibaющих* последовательно уменьшаются. Данный признак может служить показателем аэродинамической устойчивости динамической модели газопровода.

Выводы

1. Предложен способ гашения резонансных амплитуд в надземных газопроводах с помощью устройства односторонней связи.
2. Показана возможность вычисления реакции динамической системы с односторонней связью «газопровод - гаситель колебаний» при нестационарном процессе на основе временного анализа.
3. Построена аэродинамически устойчивая расчетная модель газопровода с максимальными резонансными амплитудами не более 0,8 см.

Литература

1. *Динамический расчет сооружений на специальные воздействия* // Справочник проектировщика. - М.: Стройиздат, 1981 - 216с.
2. Бисплинхофф, Р.Л. *Аэроупругость: монография* / Р.Л. Бисплинхофф, Х. Эшли, Р.Л. Халфман. - М.: ИЛ, 1958. - 799 с.
3. Потапов, А.Н. *К вопросу об аэродинамической неустойчивости надземных газопроводов I АН.* Потапов, А.Г Немелкова // *Территория Нефтегаз.* - 2005. - № 4.-С. 36-39
4. Потапов, А.Н. *Динамический анализ дискретных диссипативных систем при нестационарных воздействиях: монография* /А.Н. Потапов. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2003. - 167с.