

У статті запропоновано ряд конструктивних заходів по зменшенню вібрацій трубопроводів насосів Диканівської станції. Наведені результати розрахунку на резонанс трубопроводів насосів та експериментальних досліджень вібрацій до та після встановлення додаткових опор на них, які в 5-10 разів знизили рівні вібрації та підвищили надійність трубопроводів

Ключові слова: амплітуда та частота вібрації, трубопровід насоса

В статье предложен ряд конструктивных мероприятий по уменьшению вибраций трубопроводов насосов Диканевской станции. Приведены результаты расчета на резонанс напорных трубопроводов насосов и экспериментальных исследований вибраций до и после установки дополнительных опор на них, которые в 5-10 раз снизили уровни вибрации и повысили надежность трубопроводов

Ключевые слова: амплитуда и частота вибрации, трубопровод насоса

In article a number of constructive actions for the reduction vibrations pipelines pumps of Dikanevsky pump station are offered. Results of calculations on a resonance of pipelines and experimental researches of vibrations before and after installation of additional support on them are resulted, which is considerable (at 5-10) is reduced by vibrations and raise reliability of pipelines

Key words: amplitude and frequency of vibration, the pump pipeline

СНИЖЕНИЕ УРОВНЕЙ ВИБРАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Ю. М. Кухтенков

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Кафедра гидромашин

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

Контактный тел: (057) 707-66-46

1. Введение

В связи с повышенной вибрацией трубопроводов насосов Диканевской насосной станции Харькова были проведены замеры вибрации насосов и напорных трубопроводов. Уменьшение амплитуд вибраций (а.в.) является актуальной задачей, так как способствует повышению надежности трубопроводов и увеличению мощности гидроагрегатов [1-4]. Целью работы было снижение уровней а.в. трубопроводов насосов № 1, 2. На станции установлены 9 насосов типа СДВ-9000/45, $n=500 \text{ мин}^{-1}$, $N=1600 \text{ кВт}$. Снижение вибрации трубопроводов в 5-10 раз было достигнуто путем установки дополнительных опор на напорных трубопроводах после предварительного расчета трубопроводов на резонанс и определения мест установки опор. В процессе работы определены двойные а.в. для ряда точек, начиная от насоса до входа напорного трубопровода в бетон на отметке - 4,4 м. Схема установки датчиков показана на рис. 1, 2.

2. Результаты измерений вибраций трубопроводов насосов

Агрегат № 1. На рис. 1а приведена схема последовательности измерений вибраций (цифрами возле мест установки датчиков) с применением аппаратуры Vibrorport. В спектральном разложении суммарной вибрации основными были две частоты - оборотная (8,3 Гц) и двойная оборотная (16,7 Гц). На рис. 1б построены эпюры двойных а.в. по длине трубопровода для суммарного колебания и определяющей вибрационной частоты 8,3 Гц. Двойная а.в. на участке от насоса до начала стакана незначительна. Отметим также удовлетворительное вибрационное состояние самого насоса: вертикальная а.в. крышки насоса 55 мкм при частоте 3,2 Гц и 30 мкм при 8,4 Гц, радиальная вибрация подшипника - 46 мкм при 3,1 Гц и 65 мкм при 8,3 Гц. На участке вертикального стакана а.в. частотой возрастает от 50 мкм внизу до 150 мкм сверху стакана. Вибрация значительно возрастет на горизонтальном

участке трубопровода, причем наибольшее значение а.в. достигают на участке между опорами № 2 и № 3. Замеры показали, что роль опор в уменьшении вибрации незначительна и виброперемещения опор, особенно №2 и №3, ненамного ниже, чем трубопровода между ними. Штриховой линией на рис. 1б, показана эпюра виброперемещений при 40% производительности насоса. Видно, что вибрация уменьшилась незначительно.

Агрегат № 2. Уровень а.в. на агрегате №2 был выше, чем на агрегате №1, радиальная вибрация подшипника насоса: соответственно 87 мкм при 8,3 Гц и 65 мкм при 16.6 Гц, что свидетельствует о худшей центровке вала насоса. На участке трубопровода до и после задвижки вибрация незначительна. Распределение а.в. по длине горизонтального участка трубопровода приведена на рис. 2. Анализ показывает, что неблагоприятный в вибрационном отношении, участок был расположен между стенкой и опорой №1, причем решающее значение имеют вибрации с частотой 16,6 Гц, достигающие 200 мкм посредине указанного пролета.

3. Оценка возможности резонанса трубопроводов насосов

Ввиду высоких значений вибраций с частотами 8,3 Гц и 16,6 Гц для трубопроводов №1,2, которые одновременно являются основными возмущающими частотами, проведена оценка возможности возникновения резонанса трубопроводов. Для этого необходимо было определить собственную частоту конструкции. Расчет производился согласно [5].

Трубопровод рассматривался как стержневая система с заданными граничными условиями: шарнирное опирание или жесткая заделка. Очевидно, что более реально отражает условия первая схема.

Собственные частоты стержневой системы определяются по формуле

$$f = \frac{(\alpha_k l_k)^2}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EI}{m_c + m_t}} \quad (1)$$

где k - номер формы колебаний (1,2,..., n); α_k - k -й корень частотного уравнения; l - длина участка; EI - изгибная жесткость сечения; m_c, m_t - погонная масса стержня и теплоносителя, $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$, $I = \pi(D^4 - d^4) / 32 = 757653 \text{ см}^4$, $D = 112 \text{ см}$, $d = 110,6 \text{ см}$, $m_t = \gamma_c \pi d^2 / 4 = 9,602 \text{ кг/см}$ для воды, $m_c = \gamma_c \pi (D^2 - d^2) / 4 = 1,908 \text{ кг/см}$ для стали $\gamma_c = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Подставив цифровые значения EI , $m_c + m_t$ и 2π в (1) получим (2)

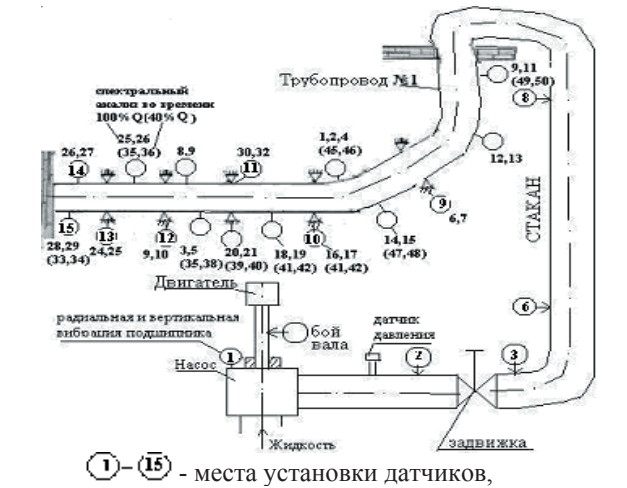
$$f = \frac{(\alpha l_k)^2}{l^2} 5,4848 \cdot 10^4 \quad (2)$$

Рассматривая две низшие формы колебаний, так как в реальных конструкциях они наиболее опасны, получим (3)

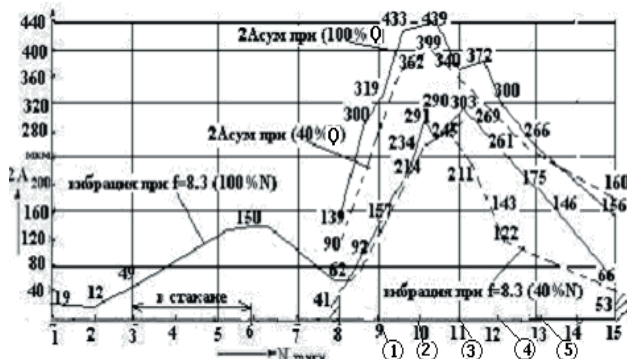
$$\left. \begin{aligned} \alpha_{k1} &= 3,142 \\ \alpha_{k2} &= 6,283 \end{aligned} \right\} \text{ - шарнирное опирание,}$$

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{k1} &= 4,73 \\ \alpha_{k2} &= 7,853 \end{aligned} \right\} \text{ - жесткая заделка} \quad (3)$$

Используя (2), было получено условие резонанса конструкции, т.е. какой должна быть длина между опорами. Результаты сведены в табл. 1. Условия резонанса конструкции - это длины между опорами: для частоты 8,3 Гц - 2,5 м и 5 м; для частоты 16,6 Гц - 1,8 м и 3,6 м. Значит, при принятой системе опор, не обеспе-



а)



— при 40% нагрузки, — при 100% нагрузки, 1-15 - места замеров, ①-⑤ - номера опор

б)

Рис. 1. Схема измерений и уровни вибраций на трубопроводе 1 до установки опор: а - схема измерений вибраций, б - двойные а.в. по длине трубопровода 1

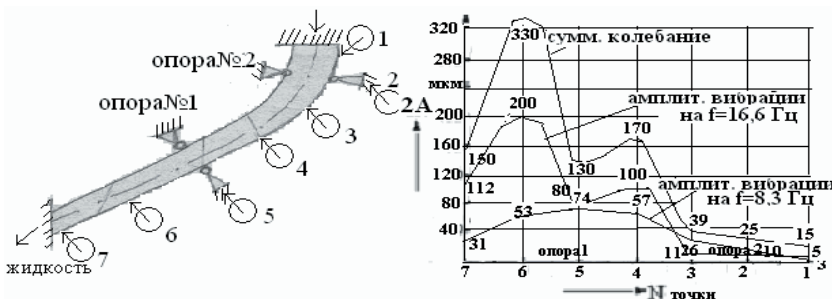


Рис. 2. Вибрация между заделками на трубопроводе 2 до установки опор

чивающих жесткую передачу на грузки, длина пролета между ними не должна превышать 1,5 м. Повышенная вибрация сооружения вызвана недопустимо высокими вибрациями трубопровода насоса №1 на горизонтальном участке 1-4 рис. 16. Основные частоты возбуждения - оборотная (8.3 Гц) и двойная оборотная (16.6 Гц) были определяющими в спектре частот вибрации трубопроводов №1, 2 и приводили к резонансу, вызванному совпадением собственных частот конструкции трубопровода на горизонтальном участке с частотами возмущающих сил.

Опоры, на которые установлены трубопроводы, не играли существенной роли в увеличении его жесткости, а.в. на трубопроводах и на опорах отличались незначительно.

Кроме того, их невысокая жесткость и слабость основания, относительно тонкое перекрытие здания, способствовало повышенной вибрации всего сооружения.

Таблица 1

Условия резонанса трубопроводов

резонансная частота, Гц	шарнирное опирание, м		жесткая заделка, м	
	κ=1	κ=2	κ=1	κ=2
8,3	2,55	5,10	3,84	6,38
16,6	1,80	3,60	2,70	4,50

Учитывая значительные а.в. трубопровода № 1, а также рассмотренного участка на трубопроводе № 2 рис. 2, и относительно высокие частоты вибрации - 8.3 Гц и 16.7 Гц, следует отметить, что существовала опасность преждевременного выхода из строя трубопроводов или опорных конструкций ввиду падения усталостной прочности. Поскольку основными частотами возбуждающих сил являются оборотная и двойная оборотная частоты, генерируемые насосом, рекомендовалось провести проверку возможного гидравлического и механического небаланса рабочего колеса насоса, а также проверить зазоры между рабочим колесом и его корпусом.

В качестве основного мероприятия повышения вибростойкости элементов конструкции трубопроводов и надежности сооружения в целом рекомендовалось исключить возможность резонанса путем частотной отстройки собственных колебаний от частот возбуждения.

Среди возможных мер рекомендовалось: увеличить жесткость горизонтального участка трубопроводов № 1, 2 рис. 1а, 2 путем закрепления его к вышерасположенным мощным балкам перекрытия, для чего разработать специальную рамную конструкцию; исключить между опорами длины, которые могут вызывать резонанс - по расчету это 1,8; 2,5; 3,6 и 5 м; другие меры, повышающие жесткость, и меняющие собственную частоту трубопровода.

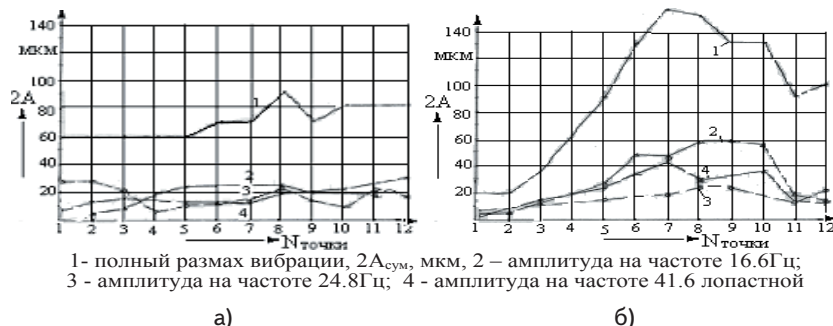


Рис. 3. Вибрация между заделками на трубопроводах после установки опор: а - трубопровод № 1, б - трубопровод № 2

4. Оценка вибраций после установки опор на трубопроводах № 1, 2

После установки дополнительных опор 3,5,8 на трубопроводе №1 и 3,6 на трубопроводе № 2 рис. 4 были проведены замеры а.в. трубопроводов № 1,2 и уровни а.в. между заделками на трубопроводах после установки опор рис. 3.

Целью замеров было: определение параметров вибрации трубопроводов №1,2 и оценка их вибрационно-го состояния по длине трубопроводов после установки опор; начиная от линии всасывания насоса; оценка эффективности ранее проведенных работ по уменьшению вибраций трубопроводов № 1, 2. Данные по вибрации трубопроводов приведены в табл. № 2, где 2A_{сум} - полный размах, мкм; 2A_f - двойная амплитуда и соответствующая ей частота, Гц.

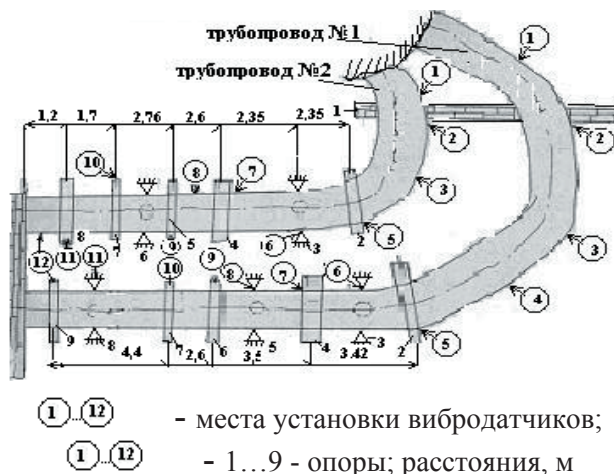


Рис. 4. Схема замеров вибраций на трубопровод. № 1,2 после установки опор

Таблица 2

Уровень и частоты вибрации на трубопроводах № 1,2

Трубопровод №1	2A _{сум} , мкм	частоты и амплитуды - f, Гц; 2A, мкм			
		f=8.3	16,6	24.6	41.6
до установки опор	90...425	2A=40-90	-	-	-
после установки опор	60-90	менее 10	9...22	6...27	7...29

Продолжение таблицы 2

Трубопровод №2	2A _{сум} мкм	частоты и амплитуды - f, Гц; 2A, мкм			
		f=8,3	16,6	24,6	41,6
до установки опор	15-330	2A=26...74	80...200	-	-
после установки опор	18-160	16...24	28...60	15...24	20...46

Выводы и рекомендации

1. Сравнение параметров вибрации на трубопроводах до и после установки дополнительных опор дает значительное уменьшение а.в., см. табл. 2.

Особо отметим эффект по трубопроводу № 1: суммарное значение уменьшилось почти в 5 раз с 425 до 90 мкм, вибрации на оборотной частоте 8,3 Гц практически полностью устранены, по кратным составляющим, в т.ч. с кратной лопастной частотой - 41,6 Гц, двойная амплитуда менее - 30 мкм.

По трубопроводу № 2 также отмечено значительное снижение параметров вибрации: полный размах а.в.- в районе входа трубопровода в стену вибрация не изменилась - соответственно 15 и 18 мкм, в районе выхода из стены - уменьшилась со 150 до 100 мкм, максимальное значение - уменьшилось в два раза - с 330 до 160 мкм. По составляющим вибрации наблюдается заметное уменьшение а.в.: на оборотной частоте - с 74 до 24 мкм, на двойной оборотной - с 200 до 60 мкм. После установки дополнительных опор на трубопроводе №1 вибрационное состояние изменилось: вибросостояние трубопровода № 1 стало существенно лучше, чем трубопровода № 2.

2. Вибрационное состояние трубопроводов можно оценить следующим образом - за основу взяты нормы РВ 34.31.303-96 - для гидравлических машин:

- трубопровод № 1 - "хорошо", работа насоса в поле эксплуатационной характеристики без ограничения по времени, контроль вибрации - раз в год;

- трубопровод № 2 - "неудовлетворительно", эксплуатация временно допустима, необходимо устранить вибрации при первой возможности. До устранения вибрации проводить контроль не реже раза в полгода.

3. Проведенные мероприятия привели к значительному улучшению вибрационного состояния трубопровода №1. Теперь уровень его вибрации опасности для его надежной работы не представляет, но вибрация передается на перекрытие и вызывает вибрацию строительной части. Для предотвращения повреждений конструкций рекомендуется провести ряд мероприятий:

1) уменьшить вибрации опор, том числе тумб, путем установки резиновых, пружинных или иных амортизаторов - упругих прокладок [1-4]. Целесообразно подобрать амортизаторы промышленной разработки;

2) увеличить жесткость трубопровода путем установки (приварки) кольцевых ребер жесткости. Рекомендуется ребра 150x10...12 мм: с шагом 2 м на криволинейных участках трубопровода; на криволинейных участках трубопровода № 1 - по одному между опорами №№2, 4, 6, 7 (всего 3); трубопровод № 2 - по одному между опорами №№4, 5, 7 (всего два) и два - между опорами 2 и 4.

3) устранить причины повышенной вибрации насоса № 2;

4) после выполнения рекомендаций по п.п.1-3 провести контроль вибрации трубопроводов и строительных конструкций. Контроль вибрации насосных станций проводить до и после каждого капитального ремонта насосных агрегатов, но не реже одного раза в год.

Литература

- Самарин А.А. Вибрации трубопровода энергетических установок и методы их устранения – М., Энергия, 1979. – 288 с.
- Гладких П.А., Хачатурян С.А. Вибрации в трубопроводах и методы их устранения. – М., Машгиз, 1959. – 243 с.
- Писаренко Г.С. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. Справочник. Киев: Наукова думка, 1971.– 376 с.
- Государственные стандарты СССР Резино-металлические равно-частотные виброизолирующие опоры ОВ-ГОСТ 17712-72. Резиновые виброковрики КВ-1 и КВ-2, ГОСТ 17725-81. Прокладки из резины ГОСТ 7338-77, ГОСТ 19177-81, ГОСТ 25640-83.
- Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов энергетических установок, ПНАЭ Г-7-002-86.