

Таким образом, нами выполнена систематизация добавочных потерь наиболее существенных и специфичных для синхронной машины, питающейся от тиристорного преобразователя в схеме ВД. Для более корректного учета добавочных потерь проведен анализ гармонических составляющих намагничивающих сил многофазных обмоток якоря ВД. С учетом анализа гармонических составляющих н.с. приведены расчетные формулы для добавочных потерь.

Необходимо отметить, что добавочные потери и пульсации электромагнитного момента зависят не только от конструктивных и схемных решений ВД, но и от режимов его работы.

1. Зиннер Л.Я., Скороспешкин А.И. Вентильные двигатели постоянного и переменного тока. – М.: Энергоиздат, 1981. – 136 с.

2. Волчуков Н.П., Глебова М.П. Особенности работы ВД в статистических режимах // Вестник Харьковского гос. политехн. ун-та. Вып.13. – Харьков: Нац. техн. ун-т "ХПИ", 2000. – С. 97-98.

Получено 26.06.2002

УДК 621.311.25

Г.А.ЛЕЩИНСКИЙ, канд. техн. наук

Украинская инженерно-педагогическая академия, г.Харьков

О.А.ПОДУФАЛАЯ

Национальный университет им. В.Н.Каразина, г.Харьков

ИЗМЕРЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ДАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО ДВУХФАЗНОГО ТЕЧЕНИЯ

Описывается способ выделения переменной составляющей давления двухфазного потока, результаты которого используются в вибрационных расчетах трубопроводных систем электростанций.

Для получения граничных условий и проверки решения нестационарной задачи на дренажном трубопроводе были измерены давления в пяти сечениях по длине (рис.1). Датчики давления устанавливали на отборных трубках. Принятые уклоны последних препятствовали попаданию в них паровой фазы.

В первых, методических, опытах оценивали частоту и амплитуду переменной составляющей давления, для чего были выбраны серийные проволочные резистивные мембранные преобразователи типа ТДДМ, включаемые в схему многоканального тензометрического усилителя постоянного тока "Топаз" с выходом на светолучевой осциллограф Н-117. Установка преобразователей и проверка на резонансную частоту акустических колебаний присоединенной системы рассмотре-

на в [1]. Собственная частота мембраны преобразователя составляла 5 кГц, верхний предел измеряемых давлений — 1 МПа.

Особенности тарировки преобразователей, предназначенных для измерения на дренажном трубопроводе, определялись необходимостью выделения переменной составляющей давления, предположительно равной 5% от стационарной величины, измеренной образцовым манометром. Тарировку выполняли на грузопоршневом прессе. Вначале сигнал, соответствующий стационарному давлению, полностью компенсировали от источника регулируемого напряжения ИРН. Компенсацию осуществляли визуально по шкале осциллографа со вспомогательным гальванометром, наибольший ток отклонения которого составлял 4 мА. Затем устанавливали более чувствительный (рабочий) гальванометр с током отклонения 0,15 мА, а на прессе создавали дополнительное давление, равное двойной амплитуде переменной составляющей. Соответствовавший этому давлению сигнал "растягивали" на всю ширину шкалы осциллографа регулировкой усиления прибора "Топаз". Напряжение компенсации фиксировали в тарировочном журнале и подключали при подготовке к измерениям до установки рабочего гальванометра. Порядок операций при подготовке измерений соответствовал принятому при тарировке, что предотвращало перегрузку рабочего гальванометра по току. Блок-схема одного измерительного канала показана на рис.2.

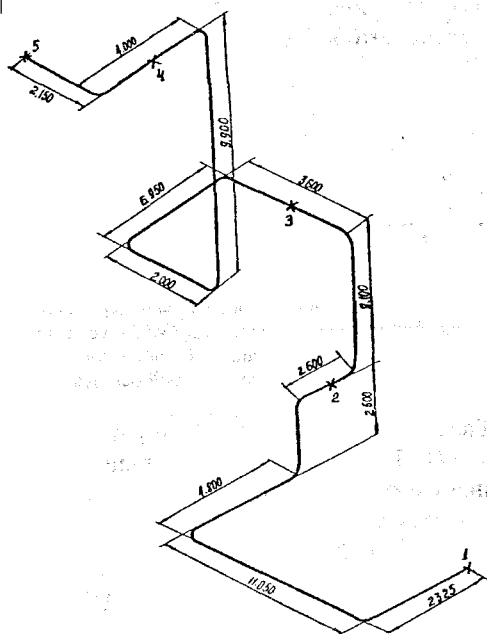


Рис.1 — Схема трубопровода (х — места измерения параметров двухфазного потока)

Предполагаемая частота изменения измеряемого давления была принята не превышающей 20 Гц, т.е. более чем на два порядка меньше резонансной частоты колебаний мембраны преобразователя. Поэтому

правомерность использования последнего с точки зрения частотной полосы пропускания мембраны сомнений не вызывала. Определяющими были приняты частотная, амплитудная и фазовая характеристики системы отборная трубка - вода - внутренняя полость датчика (рис.3).

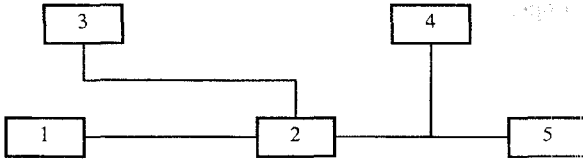


Рис.2 – Блок-схема измерительного канала:

- 1 – преобразователь давления ТДДМ; 2 – усилитель постоянного тока "Топаз";
 3 – блок питания "Гранат"; 4 – источник регулируемого напряжения;
 5 – светолучевой осциллограф Н-117

Расчет системы выполняли согласно [2]. Трубку и датчик считали заполненными водой. Исходные данные для расчета: частота измеряемого процесса $f = 0,02$ кГц; длина отборной трубки $l = 0,3$ м; радиус отборной трубки $r = 0,005$ м; внутренний объем датчика $V = 2,8 \cdot 10^{-6}$ м³; скорость звука в воде $C_0 = 1400$ м/с; коэффициент кинематической вязкости воды $\nu = 7,971 \cdot 10^{-7}$ м²/с; $P_{вх}$ – давление на входе в отборную трубку; P – давление, измеряемое датчиком. Поскольку отборная трубка является тупиковой линией, физические свойства воды в ней определяются температурой окружающей среды (в нашем случае это температура машзала, т.е. 30 °С).

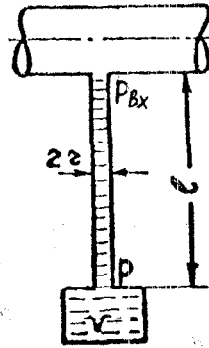


Рис.3 – Гидравлическая схема подключения преобразователя ТДДМ

Собственная частота акустических колебаний системы

$$f_0 = \sqrt{\frac{3r^2 C_0^2}{16\pi l V}} = 2 \text{ кГц.}$$

Коэффициент демпфирования амплитуды колебаний измеряемого давления

$$\frac{P}{P_{ex}} = \left\{ \left[1 - \left(\frac{f}{f_0} \right)^2 \right]^2 + 4h^2 \left(\frac{f}{f_0} \right)^2 \right\}^{-0,5}$$

где степень успокоения

$$h = \frac{v}{C_0 r^3} \sqrt{\frac{3IV}{\pi^3}}$$

После подстановки численных значений получаем

$$\frac{P}{P_{ex}} = 1,0001.$$

Фазовый сдвиг между P и P_{ex} равен

$$\varphi_c = \arctg \left[\frac{2h \cdot \frac{f}{f_0}}{1 - \left(\frac{f}{f_0} \right)^2} \right] = 0,19 \cdot 10^{-8} \text{ град.}$$

Экспериментальную проверку амплитудно-частотной характеристики системы передачи давления выполняли на стенде со сжатым воздухом [3]. Возмущение по давлению длительностью 0,08 с создавали быстродействующим электромагнитным золотником, время открытия которого измеряли электросекундомером. Два датчика ТДДМ были установлены в одном сечении трубы вблизи золотника на одинаковых отборных трубках, одну из которых вместе с полостью датчика заполняли водой. Предполагалось, что воздушное заполнение второй трубки и датчика искажений при передаче давления не вносит.

Осциллограммы скачка давления до 0,8 МПа, записанные одновременно обоими датчиками, отличий не имели.

Таким образом, полученные расчетные и экспериментальные данные свидетельствуют о практическом отсутствии искажений, которые могли быть внесены акустической системой передачи давления.

Результатами осциллографирования переменной составляющей давления в дренажном трубопроводе ПВД-6 блока 300 МВт Криво-рожской ГРЭС-2 с помощью датчиков ТДДМ (отрезок одной из осциллограмм показан на рис.4) установлено, что частота и двойная амплитуда колебаний давления не превышают 2 Гц и 30 кПа соответственно. Для измерения таких малых отклонений давления точность

датчиков ТДДМ нельзя признать удовлетворительной. Это обусловило переход к следующему, уточняющему этапу измерений с использованием дифференциального метода, реализованного с помощью серийного дифференциального манометра ДДП4, который выпускает авиационная промышленность, с предельным значением перепада измеряемых давлений 30 кПа и классом точности 3%. Для измерений в промежуточных сечениях трубопровода использовали дифманометры с меньшим перепадом давлений. Чувствительным элементом дифманометра является двойной сильфон, связанный с потенциометрическим преобразователем давления в электрический сигнал. Преобразователь подключали к внешнему полумосту, питался он стабилизированным напряжением постоянного тока. Осциллограф включали непосредственно в измерительную диагональ моста. Необходимую величину шкалы в пределах ширины диаграммной ленты обеспечивали при тарировке подбором чувствительности гальванометров. Тарировку выполняли с помощью стеклянной трубки, заполняемой водой. Отсутствие усилителя способствовало повышению стабильности схемы.

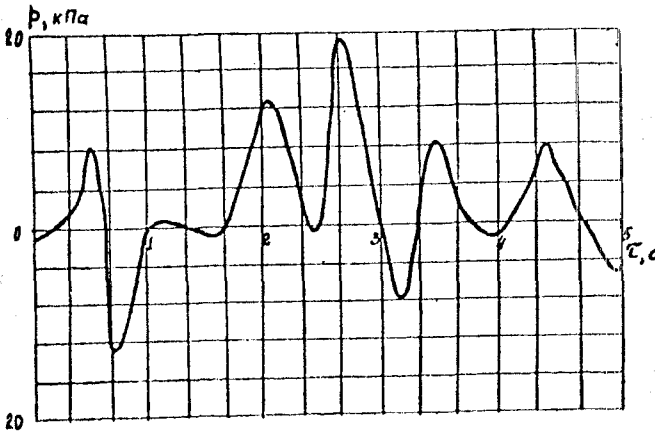


Рис. 4 — Осциллограмма переменной составляющей давления, полученная с помощью преобразователя ТДДМ

Чтобы использовать дифманометр для выделения переменной составляющей измеряемого давления, в его минусовой ветви нужно создать опорное статическое давление, равное статической составляющей давления в данном сечении трубопровода, а плюсовую ветвь подключить непосредственно к трубопроводу, причем обе ветви должны нагружаться давлением одновременно для предотвращения разрыва сильфонов. Среда, передающая опорное давление, должна быть упру-

гой, чтобы не препятствовать колебаниям сильфонов. Общий объем этой среды должен быть существенно больше ее объема, вытесняемого сильфонами при их колебаниях под действием переменной составляющей давления. Несоблюдение последнего условия может нарушить постоянство опорного давления и вызвать появление соответствующей погрешности измерения в необходимом нам низкочастотном диапазоне. Эти требования реализованы в гидравлической схеме включения дифманометра (рис.5), обеспечивающей надежную физическую компенсацию статической составляющей давления при измерениях низкочастотных пульсаций с малой амплитудой. Опорное давление в одной из ветвей дифманометра создается с помощью частично заполненного воздухом демпфирующего сосуда с водой, включенного последовательно с резьбовой демпфирующей вставкой, представляющей собой гидравлический дроссель в виде длинного винтового канала малого сечения. Электрическим аналогом схемы для получения опорного давления является индуктивно-емкостной сглаживающий фильтр. Ко второй ветви дифманометра приложено давление в трубопроводе.

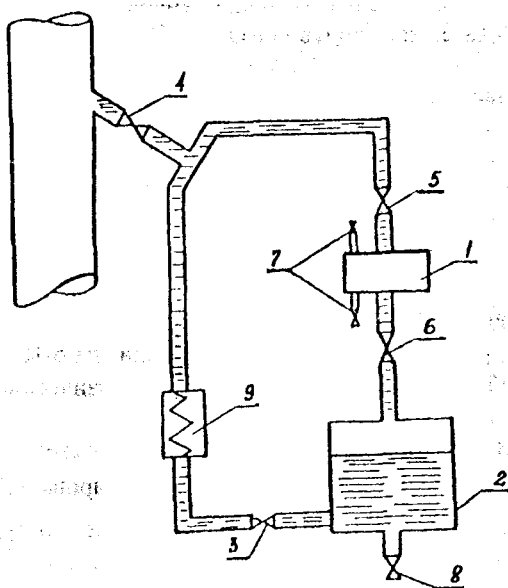


Рис.5 – Гидравлическая схема включения сильфонного дифманометра:
 1 – дифманометр; 2 – демпфирующий сосуд; 3 – вентиль сосуда; 4 – вентиль на отборной трубке; 5, 6 – вентили дифманометра; 7 – продувочные пробки; 8 – дренажный вентиль; 9 – резьбовая демпфирующая вставка

Известные схемы построения датчиков для измерения переменной составляющей пульсирующего давления или не позволяют иметь границу фильтрации ниже 12-15 Гц [4], или предназначены только для газовых потоков [5]. Они не пригодны для измерения давления двухфазной среды в дренажных трубопроводах, где требуется выделить переменную составляющую с частотой, примерно соответствующей частоте вибрации трубопроводов (0,5-3 Гц).

При подготовке к измерениям схему использовали в таком порядке. Вентили 3, 6 открывали полностью, а вентиль 5 – частично. После открытия вентиля 4 пароводяная смесь, поступающая из дренажного трубопровода, сжимала воздух в сосуде, а частичным перекрытием вентиля 5 обеспечивали одновременный рост давлений в плюсовой и минусовой линиях. Затем вентиль 5 открывали полностью и некоторое время выдерживали схему для конденсации пара в минусовой линии. Перед началом измерений воздух из плюсовой ветви удаляли с помощью продувочной пробки 7. Вставка 9 совместно с присоединенной массой воды в сосуде 2 подавляла переменную составляющую давления в минусовой линии. После окончания измерений вентиль 4 закрывали, давление сбрасывали продувочными пробками 7, сосуд 2 дренировали вентилем 8.

Как и в случае с датчиком давления ТДДМ, определяющими для оценки динамических свойств дифманометра были приняты частотная, амплитудная и фазовая характеристики системы отборная трубка – среда – внутренняя полость сильфонов. Резонансная частота подвижной части дифманометра была достаточно высокой благодаря большой жесткости сильфонов. Частота изменений давления была принята $f = 5$ Гц. Расчет характеристик осуществляли по методике [2].

Исходные данные для расчета плюсовой ветви, заполненной водой: внутренний радиус соединительной трубки $r = 5 \cdot 10^{-3}$ м; длина трубки $l = 1$ м; объем сильфонов $V = 8 \cdot 10^{-6}$ м³; физические свойства воды – см. расчет датчика ТДДМ.

Характеристики плюсовой ветви получили равными: собственная частота системы $f_0 = 110$ Гц; коэффициент демпфирования давления $P/P_{\text{вх}} = 1,001$; фазовый сдвиг $\varphi_c = 0,3 \cdot 10^{-6}$ град. Расчет минусовой ветви проводили с учетом ее заполнения воздухом при нормальной температуре, длине трубки $l = 0,05$ м, внутреннем объеме дифманометра $V = 2 \cdot 10^{-4}$ м³.

Результаты расчета по формулам: $f_0 = 83 \frac{r}{\sqrt{IV}} = 170$ Гц; степень

успокоения $h = 0,89 \cdot 10^{-7} \sqrt{\frac{IV}{r^3}} = 1,75 \cdot 10^{-3}$; коэффициент демпфирования $P/P_{вх} = 1,0009$; фазовый сдвиг $\varphi_c = 0,57 \cdot 10^{-6}$ град.

Дифманометры испытывали на стенде со сжатым воздухом аналогично датчикам ТДДМ, но при скачке давления, равном $3 \cdot 10^4$ Па. Сравнение осциллограмм, записанных двумя дифманометрами, показало отсутствие искажений, которые могли быть внесены водяным заполнением.

Приведенные данные подтверждают возможность использования дифманометра ДДП4 для наших измерений. С его помощью получены осциллограммы переменной составляющей давления в различных сечениях трубопровода при разных нагрузках турбины. В качестве примера на рис.6 приведен отрезок осциллограммы для входного сечения при номинальной нагрузке. Анализ осциллограмм, снятых в разное время, свидетельствует, что изменение давления в трубопроводе можно рассматривать как случайный эргодический стационарный процесс [6, 7]. Поэтому средние значения частот и амплитуд определяли только для одной, довольно длительной реализации этого процесса, причем последний аппроксимировали синусоидой [8]. Полученную зависимость для переменной составляющей давления на входе в трубопровод при номинальной нагрузке турбины использовали в качестве граничного условия $\Delta P_1(\tau)$ для решения нестационарной задачи. Проверку этого решения по давлению проводили по результатам измерений в промежуточных сечениях трубопровода, обработанных так же, как и результаты измерений во входном сечении.

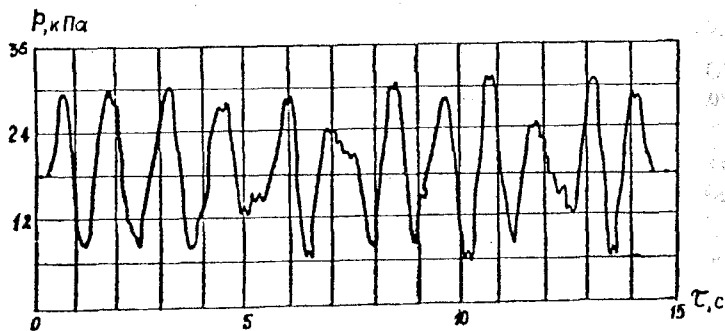


Рис.6 – Осциллограмма переменной составляющей давления, полученная с помощью сильфонного дифманометра

Дренажные трубопроводы для сброса пароводяной среды из регенеративных подогревателей в деаэраторы турбин наиболее уязвимы в вибрационном отношении. Описанная здесь методика измерения является составной частью мероприятий по исследованию и предотвращению низкочастотных колебаний с большой амплитудой, возникающих при эксплуатации трубопроводов с нестационарным двухфазным течением на тепловых и атомных электростанциях. Повышенные вибрации являются причиной обрыва или разрушения трубопроводов, в частности первого контура парогенераторов АЭС. Возникающие при этом утечки радиоактивной среды служат источником ухудшения экологического состояния окружающей территории.

1. Токарь И.Я., Лещинский Г.А. Определение параметров нестационарного течения в сбросном трубопроводе турбины // Электрические станции. – 1979. – №4. – С.27-29.

2. Нуберт Г.П. Измерительные преобразователи неэлектрических величин. – Л.: Энергия, 1970. – 360 с.

3. Токарь И.Я., Лещинский Г.А. Об особенностях измерения нестационарных параметров пара в сбросном трубопроводе // Энергетика и электрификация. – 1979. – №2. – С.5-7.

4. Владиславлев А.П., Якубович В.А. Методы и приборы для измерения параметров динамики трубопроводных систем. – М.: Недра, 1981. – 267 с.

5. Туричин А.М. Электрические измерения неэлектрических величин. – М.-Л.: Энергия, 1966. – 690 с.

6. Мэнли Р. Анализ и обработка записей колебаний. – М.: Машиностроение, 1972. – 368 с.

7. Самарин А.А. Вибрации трубопроводов энергетических установок и методы их устранения. – М.: Энергия, 1979. – 288 с.

8. Серебрянников М.Г., Первозванский А.А. Выявление скрытых периодичностей. – М.: Наука, 1965. – 365 с.

Получено 26.06.2002

УДК 629.4.027

В.Ф.ГОЛОВКО, д-р техн. наук, И.Э.МАРТЫНОВ, канд. техн. наук,
А.В.ТРУФАНОВА

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, г.Харьков

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ПОДШИПНИКА ДЛЯ БУКС ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

Рассматриваются результаты стендовых испытаний роликовых подшипников, предназначенных для использования в буксовых узлах подвижного состава.

Известно, что железнодорожный транспорт наиболее приспособлен к массовым перевозкам грузов и пассажиров, может осуществлять перевозки в любое время суток независимо от времени года и атмосферных условий. В последние годы железные дороги Украины рабо-