

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА БОЛЬШЕПРОЛЕТНОГО ВИСЯЧЕГО МОСТА

Ведомственная система контроля технического состояния висячего моста пролетом 720 м через р. Днепр на трассе аммиакопровода Тольятти–Одесса (рис. 1), заключающаяся в традиционных методах содержания мостовых конструкций, предусматривает его периодический визуальный осмотр службой эксплуатации и детальные, один раз в 3–5 лет, обследования конструкций специализированной организацией [1].

Такая система не обеспечивает получение непрерывной и объективной информации о параметрах работы и состоянии сооружения в целом. Фактически она фиксирует либо появление того или иного видимого дефекта конструкции, который может привести к непредвиденным последствиям, либо наступление нестандартной ситуации как свершившегося факта. Если в первые годы эксплуатации такая система удовлетворяет требованиям технической диагностики мостового сооружения, то в последующем, учитывая сложности конструктивной формы, фактическое состояние конструкций и остаточный ресурс, необходимо использование современных методов диагностики и оценки эксплуатационной надежности конструкций.

Решение проблемы – в создании «*Автоматизированной системы инструментального мониторинга технического состояния висячего моста*», которая основывается на непрерывном в реальном масштабе времени долговременном измерении наиболее представительных параметров работы моста и прогнозировании на их основе технического состояния сооружения. Такими параметрами являются природные воздействия и реакция на них сооружения, а также положение сооружения в пространстве и величина судоходного габарита. Специальное расчетно-теоретическое обоснование системы мониторинга с оценкой предельных значений параметров воздействий и работы моста, а также показателей его надежности в сочетании со специально созданным программным обеспечением и результатами регламентных осмотров обеспечивает получение достоверной информации, необходимой для прогнозирования и диагностики безопасной эксплуатации перехода, принятия неотложных и своевременных мер по предотвращению аварийных ситуаций.



З.А. Шульман
технический директор
корпорации «Промстальконструкция»,
к.т.н., г. Днепропетровск

В основе построения системы мониторинга концепция единого информационного обеспечения данными о параметрах работы висячего моста при реальных ветровых воздействиях, являющихся основной нагрузкой на сооружение (инструментальный мониторинг), и результатах осмотров и контрольных измерений, выполняемых службой эксплуатации в составе работ по содержанию моста (технический надзор).



Рис. 1. Висячий мост через р. Днепр на трассе аммиакопровода Тольятти–Одесса

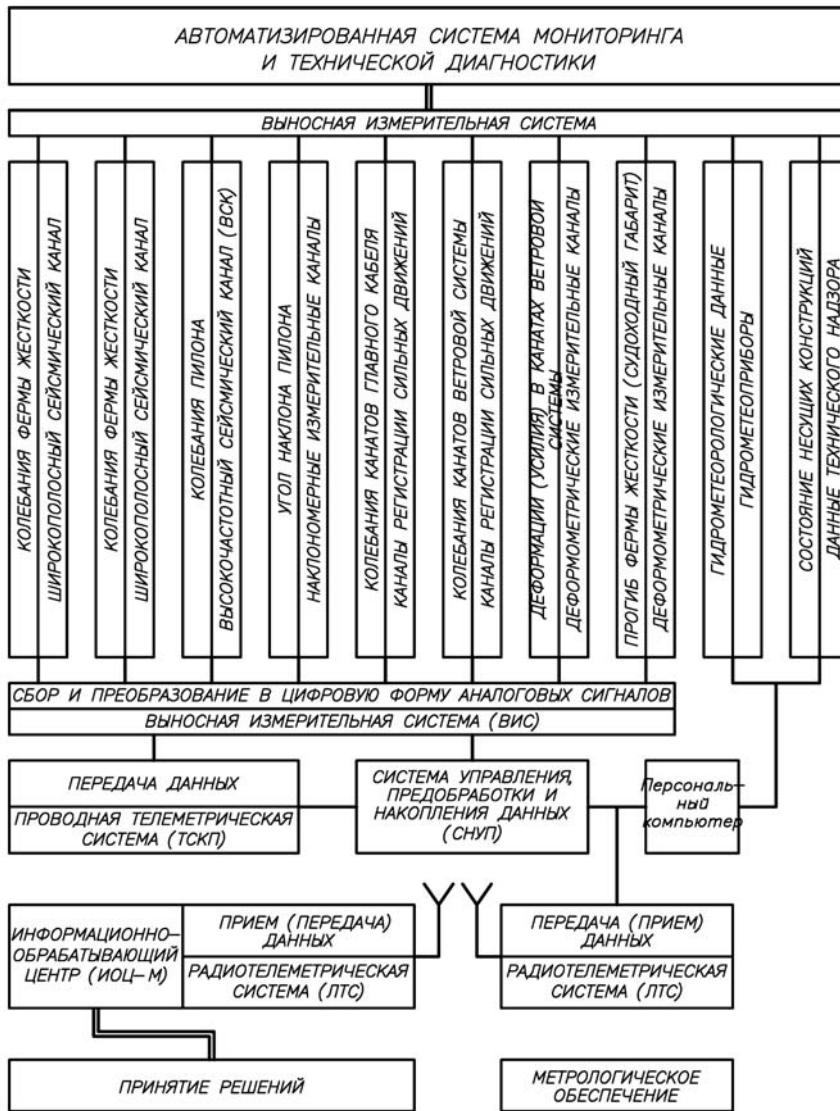


Рис. 2. Функциональная схема автоматизированной системы мониторинга и технической диагностики висячего моста в процессе эксплуатации

Функциональная схема комплексной автоматизированной системы мониторинга и технической диагностики висячего моста через р. Днепр в процессе эксплуатации приведена на рис. 2.

Автоматизированная система мониторинга технического состояния моста разрабатывается в составе проекта содержания и эксплуатации мостового перехода на основе действующих нормативных и рекомендательных документов по научному сопровождению строительства и эксплуатации уникальных зданий и сооружений [2–5] и включается в качестве подсистемы «Техническое состояние перехода аммиакопровода через реку Днепр» в АСУТП аммиакопровода.

В соответствии с [6], ГОСТ 20913-75 «АСУТП. Стадии создания» с учетом специальных требований по обеспечению надежности функциони-

рования система мониторинга разработана в следующих частях: общесистемные решения (утверждаемые в объеме технического задания); информационное и программное обеспечение.

Кроме того, в составе проекта разработаны:

- основные технические решения по оснащению моста техническими средствами информационного обеспечения мониторинга (установка, монтаж, прокладка кабельных линий, оборудование рабочего места оператора-наблюдателя);
- предложения по организационному обеспечению функционирования системы мониторинга.

Общесистемные проектные решения и информационное обеспечение системы мониторинга построены на следующих основных принципах:

1. Основным элементом системы инструментального мониторинга является программно-технический комплекс моста (ПТКМ), который функционирует по принципу «измерение–сбор–обработка–анализ–предоставление информации» о метеорологических воздействиях и параметрах работы моста, вызванных этими воздействиями, сравнение полученных

данных с расчетными пороговыми значениями, при превышении которых возможно наступление экстремальной ситуации.

2. Система работает в автоматическом режиме сбора и накопления информации, поступающей от приборов с электрическими преобразователями (датчиков). Опрос системы осуществляется в реальном масштабе времени при заданных величинах скорости ветра или колебаниях фермы жесткости, а также по запросу наблюдателя.

Результаты измерений, выполняемых механическими приборами (усилия в канатах) и геодезическими инструментами (геометрические параметры элементов моста), заносятся в базу данных с помощью клавиатуры.

3. В случае превышения контролируемых параметров пороговых величин (скорости ветра, амплитуд колебаний или судоводного габарита) система формирует сигнал предупреждения службе эксплуатации о необходимости принятия срочных мер для уменьшения последствий возможного возникновения экстремальной ситуации, а именно:

- прекращение подачи аммиака в трубопровод в пределах мостового перехода;
- эвакуация персонала;
- оповещение населения близлежащих населенных пунктов;
- предупреждение судоводителей и др.

4. Информационное обеспечение мониторинга функционирует на базе измерений представительных информативных параметров, сгруппированных в следующие подсистемы:

- *Подсистема инструментального мониторинга*, включающая измерения: скорости и направления ветра; вертикальных, горизонтальных поперечных, а также крутильных колебаний фермы жесткости; судоводного габарита (величины строительного подъема фермы жесткости).
- *Подсистема данных контрольных измерений* при проведении технического надзора, включающая измерения: продольного профиля фермы жесткости; отклонения от вертикали пилонов; усилий в канатах вантовой системы.
- *Подсистема приборного контроля технического состояния трубопровода* в пределах мостового перехода (разрабатывается по отдельному проекту).
- *Подсистема результатов осмотров и анализа технического состояния конструкций моста*.

Указанные подсистемы объединены в единый информационно-измерительный комплекс системы мониторинга.

5. ПТКМ предусматривает следующие режимы сбора информации: автоматический – для подсистемы инструментального мониторинга и ручной ввод с клавиатуры – для подсистемы данных измерений, выполняемых периодически в процессе технического надзора, а также результатов осмотров конструкций.

6. Обработка и анализ данных измерений всех подсистем осуществляется персональным компьютером и предоставляется по запросу.

7. Показатели назначения. ПТКМ обеспечивает вычисление по данным измерений следующих величин:

- средней скорости ветра с 10-минутным осреднением;
- максимальной скорости ветра за последние 10 мин наблюдений;
- среднего направления ветра за 10-минутный интервал осреднения;
- среднеквадратичного отклонения (стандарт) амплитуд горизонтальных, вертикальных и крутильных колебаний фермы жесткости;
- частоты и периода вертикальных и горизонтальных колебаний;
- параметров крутильных колебаний;
- величины судоводного габарита;
- продольного профиля и величины строительного подъема фермы жесткости;
- отклонений оси пилонов от вертикали;
- усилия в канатах вантовой системы;
- деформаций (осадок) фундаментов и устоев;
- температуры воздуха в непосредственной близости от конструкций моста (фермы жесткости);
- данных сопоставления измеренных и предельных значений контролируемых величин.

ПТКМ обеспечивает ввод данных визуального осмотра конструкций в виде текста таблицы кодированных дефектов и повреждений, а также результатов контрольных измерений.

Конструкция программно-технического комплекса дает возможность отображения на экране монитора автоматизированного рабочего места (АРМН) следующей информации:

- даты и времени наблюдения;
- мгновенной скорости ветра – три десятичных разряда с ценой единицы наименьшего разряда 0,2 м/с;
- средней скорости ветра – в виде графика изменения средней скорости ветра;
- максимальной скорости ветра – в виде графика изменения максимальной скорости ветра во времени;
- среднего направления ветра – в виде сектора на круговой диаграмме;
- горизонтальных колебаний – в виде графика амплитуды (размаха) горизонтальных колебаний фермы жесткости;
- вертикальных колебаний – в виде графика вертикальных колебаний в середине и четверти пролета фермы жесткости;

- данных измерений судоходного габарита – в табличной форме;
- данных геодезических измерений геометрических характеристик моста;
- данных измерений усилий в канатах главного кабеля поясов ветровой фермы и раскосной системы – в табличной форме за текущий и предыдущие периоды проведения измерений;
- температуры воздуха в середине пролета моста – в табличной форме;
- данных визуального осмотра и контрольных измерений – в виде журнала текущих, периодических осмотров и наблюдений установленной формы.

Форма конструкции программно-технического комплекса обеспечивает отображение на экране монитора текущей информации о результатах сопоставления измеренных и предельных величин контролируемых параметров – в табличной форме с изменением во времени данных указанного сопоставления. Предельные величины контролируемых параметров определяются расчетом.

Конструкция комплекса обеспечивает создание и хранение архива данных (измененных и введенных вручную) в течение всего срока службы сооружения. Она же дает возможность просмотра следующих архивных данных:

- средней и максимальной скорости ветра в виде графика статистических распределений флуктуации скорости ветра;
- амплитуд горизонтальных, вертикальных и крутильных колебаний в виде графика спектральной плотности колебательного процесса;
- результатов геодезических измерений – в табличной форме;
- результатов измерений усилий в канатах вантовой системы;
- температуры воздуха – в виде графика почасовых измерений;
- результатов периодических осмотров и контрольных измерений – в табличной форме и форме журнала наблюдений.

8. Форма представления данных на экране монитора, их содержание и объем одновременно выводимых на экран данных уточняется в процессе разработки специальных программных средств (ПС АРМН).

9. Предельные значения контролируемых величин и измеряемых параметров работы сооружения определяются (рассчитываются), как правило, авторами проекта моста.

10. Техническое оснащение висячего моста должно обеспечить ПТКМ необходимой периодической и непрерывной в реальном масштабе времени информацией о параметрах работы конструкции. Проектом предусмотрены следующие основные технические средства измерений: измеритель скорости и направления ветра; датчики: горизонтальных и вертикальных колебаний элементов моста, температуры воздуха и конструкций моста, уровня поверхности воды в реке относительно фермы жесткости, акустическим аппаратом контроля трубопровода; измерители усилий в канатах вантовой системы; геодезические инструменты.

Схема дислокации точек измерений представлена на рис. 3, типы первичных преобразователей и датчиков для оснащения моста системой инструментального мониторинга и их технические характеристики приведены в таблице.

Структурная схема ПТКМ приведена на рис. 4.

11. Конструктивные требования к комплексу и составным частям. Передача информации от первичных преобразователей (датчиков) к аппаратуре ПСИ осуществляется по физическим (кабельным) линиям, а от ПСИ к АРМН – либо по выделенному каналу телефонной связи, либо по служебному каналу радиосвязи.

Конструктивное исполнение средств измерений, размещаемых на мосту, должно обеспечивать их защиту от проникновения твердых тел (механическая защита), пыли и влаги, прямого воздействия атмосферных осадков и солнечной радиации.

12. Основные требования к техническим средствам комплекса в части погрешностей измерений:

- предел допускаемой основной погрешности измерения скорости ветра – не более 1 м/с;
- предел допускаемой погрешности измерения направления ветра – не более $\pm 10^\circ$;
- предел допускаемой основной погрешности измерения температуры воздуха – не более 1 $^\circ\text{C}$;
- полоса частот при измерении перемещений – от 0,03 до 4 Гц;

- предел допускаемой основной погрешности измерений колебаний – не более 10 %;
- среднеквадратическая погрешность измерений геометрических характеристик моста геодезическими инструментами по стандартным методикам: нивелиром – до 0,5 мм на

1 км двойного хода, теодолитом – до 2 с при измерениях вертикальных и горизонтальных углов;

- относительная погрешность нестандартизированных средств контроля усилий в канатах вантовой системы – не более 5 %.

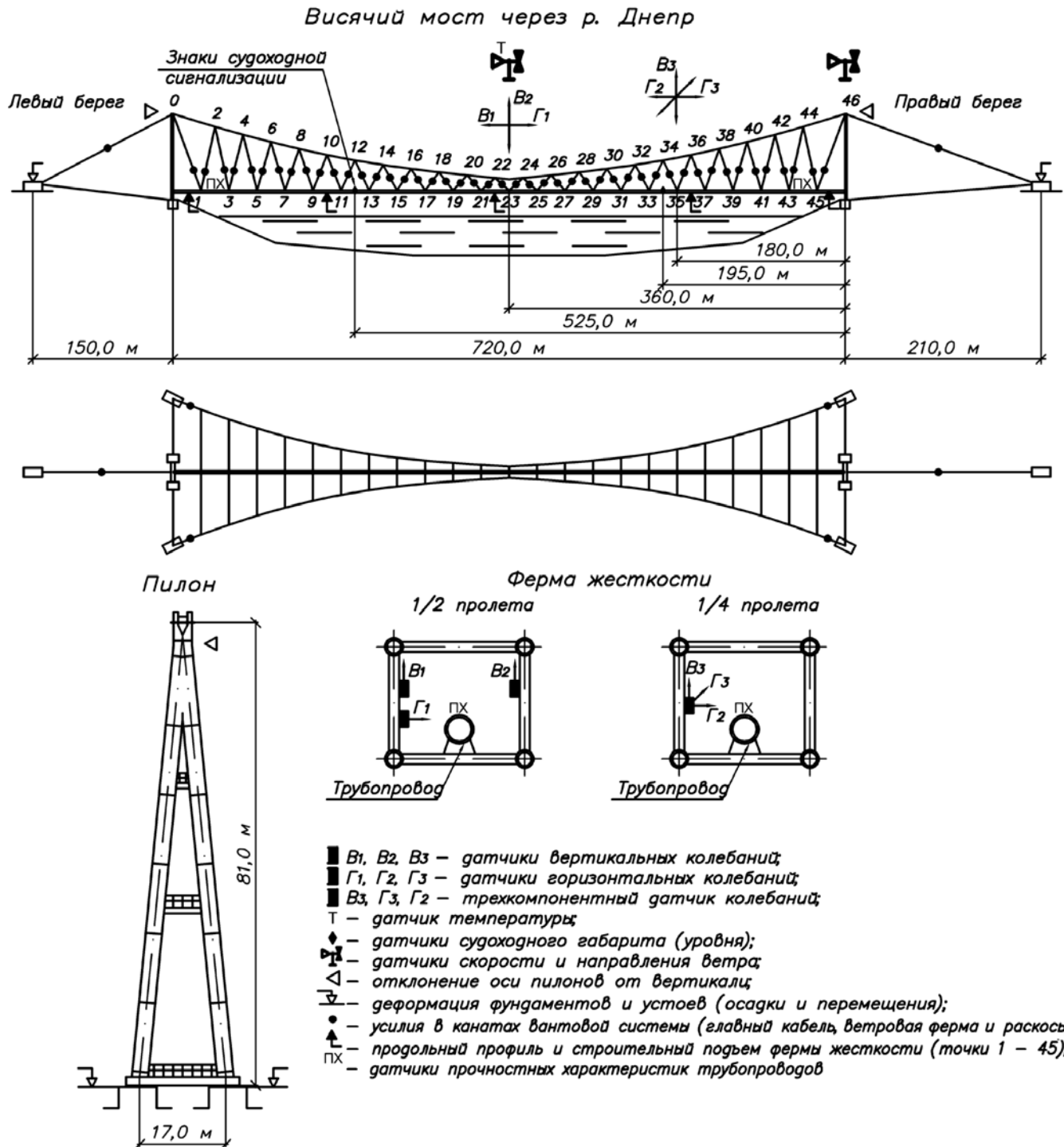


Рис. 3. Схема дислокации точек измерений

Виды и технические характеристики средств измерений

№	Наименование измеряемого параметра	Пределы измерений	Кол-во каналов
1	Поперечные горизонтальные колебания фермы жесткости в середине пролета	Частота	от 0,1 до 6 Гц
		Амплитуда	от 1 до 200 мм
2	Вертикальные и крутильные колебания фермы жесткости в середине пролета	Частота	от 0,1 до 6 Гц
		Амплитуда	от 10 до 100 мм
3	Вертикальные и горизонтальные (поперечные и продольные) колебания фермы жесткости в четверти пролета	Частота	от 0,1 до 6 Гц
		Амплитуда	от 10 до 100 мм
4	Температура фермы жесткости в середине пролета	от -40 до +70 °С	1
5	Параметры ветра	Скорость	от 1,2 до 60 м/с
		Направление	от 1 до 360 градусов
6	Судоходный габарит (расстояние от зеркала воды до фермы жесткости)	от 5 до 25 м	2
7	Отклонение оси пилонов от вертикали вдоль моста	от 0 до 10 угл. мин	1
8	Продольный профиль и строительный подъем фермы жесткости	1400 ± 200 мм	1
9	Усилия в канатах вантовой системы	50 – 1200 кН	2
10	Прочностные характеристики трубопровода (комплект акустоэмиссионного)	–	1 (6 датч.)

Примечания:

1. Пределы измерений по пп. 1–3 приняты по результатам испытаний моста.
2. Ввод результатов измерений параметров, указанных в пп. 1–6, осуществляется автоматически.
3. Ввод результатов измерений параметров, указанных в пп. 7–10, осуществляется оператором с помощью клавиатуры.
4. Типы первичных преобразователей и датчиков, их марки уточняются в процессе разработки рабочего проекта.

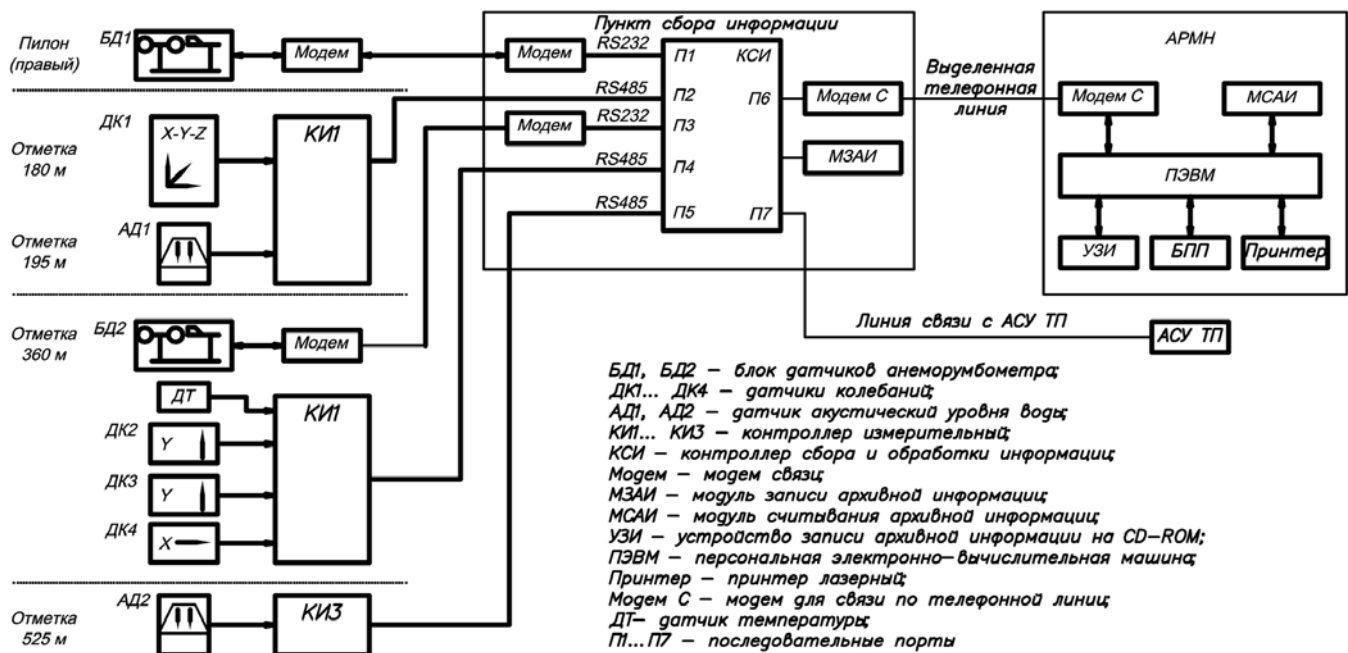


Рис. 4. Структурная схема программно-технического комплекса мониторинга (ПТКМ)

13. В соответствии с нормативными документами на создание АСУТП техническая документация должна содержать:

- краткое описание программно-технического комплекса и его составных частей, в т.ч.: состав комплекса, условия эксплуатации, требования по установке и монтажу;

- комплект схем и чертежей, в т.ч.: структурную и функциональную схемы комплекса, схему электрических соединений его составных частей и комплекса в целом, чертежи и монтажные схемы установки датчиков;
- краткое руководство оператора на автоматизированное рабочее место наблюдателя (АРМН);

- заказную спецификацию и сметный расчет на поставку и монтаж оборудования, пусконаладочные работы и ввод в действие комплекса;
- специальное программное обеспечение ПЭВМ для автоматизированного сбора, обработки, анализа, предоставления и хранения информации (ПО АРМН);
- программно-логический имитатор КСИ (для отладки и сдачи в эксплуатацию ПО АРМН).

14. Система работает по следующей принципиальной схеме – информация от датчиков поступает на контроллер сбора информации, к которому подключаются все датчики. Контроллер состоит из компьютерного модуля, оснащенного программой сбора, преобразования и кратковременного хранения информации.

ПО АРМН получает от контроллера сбора информации КСИ накопленную информацию о состоянии моста с момента последнего включения до текущего времени и переходит в режим получения и отображения данных в реальном масштабе времени.

КСИ служит для сбора информации с датчиков ветра и датчиков колебаний пролетного строения и пилона. Он работает постоянно и хранит данные, полученные от всех датчиков в течение 5 суток.

ПО АРМН служит для обработки, анализа и хранения информации за весь период жизни сооружения и отображения информации в виде, необходимом специалисту. ПО АРМН имеет два окна отображения на экране монитора: текущих измерений (рис. 5) и архивных данных.

Выбор страницы отображения осуществляется нажатием кнопки 11. Дата и время проведения измерений (текущее системное время) отображаются в полях 7 и 6. Верхняя половина окна разделена на две части, в которых расположены два графика и две круговые диаграммы (для каждого измерителя), на которых отображаются: среднее направление ветра 1, 3 (за 1 мин) и график изменения средней (синяя линия) и максимальной (зеленая линия) скорости ветра 2. С правой стороны каждого графика расположены три поля, в которые выводится информация о значениях: средней скорости ветра за 1 мин 5, максимальной – за 1 мин 4 и среднего направления ветра за 1 мин 3. На графиках 15 отображается размах колебаний моста для каждого из шести датчиков. На каждом графике подписан соответствующий ему номер датчика. В поле 10 выводится судоводный габарит, а в поле 8 – текущая температура. В поле 13 выводятся значения максимального размаха для каждого дат-

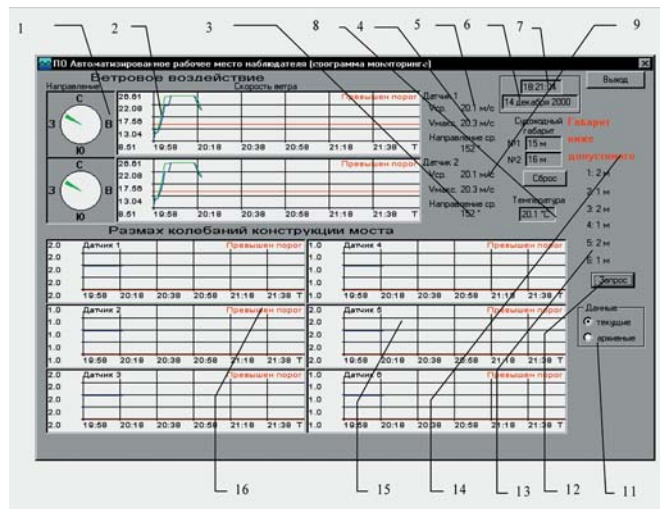


Рис. 5. Отображение окна текущих измерений ПО АРМН

чика: номер датчика указан перед двоеточием. Оператор может послать запрос о текущих параметрах мониторинга при помощи кнопки 12. Независимо от типа страницы отображения, при получении ПП данных, превышающих красную линию, для датчика, который превысил порог, выводится красным цветом надпись «Превышен порог» 16. При достижении судовым габаритом значения меньше заданного начинает мигать надпись «Габарит меньше допустимого» 14. Надписи будут оставаться видимыми до нажатия оператором кнопки «Сброс» 9.

Дальнейшее развитие системы мониторинга заключается в полной автоматизации измерений практически всех параметров работы моста, характеризующих его эксплуатационную надежность, путем дополнительных проектных разработок систем автоматизации следующих видов измерений: усилий в канатах главного кабеля, ветровой системы и раскосах; профиля и строительного подъема фермы жесткости (габарита моста); положения пилонов относительно вертикальной оси; деформации и подвижки фундаментов и анкерных устоев и др.

- [1] Шульман З.А. Испытания и мониторинг инженерных сооружений /З.А. Шульман, И.З. Шульман – Днепропетровск: Из-во «Лира», 2013. – 532 с.
- [2] ГОСТ 20913-75 «АСУТП. Стадии создания»
- [3] ДСТУ Б В.2.6-25-2003 «Конструкції будинків і споруд. Автоматизовані системи технічного діагностування будівельних конструкцій. Загальні технічні вимоги».
- [4] ДБН В.1.2-5:2007 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів».
- [5] ОДМ 218.4.002-2008 «Руководство по проведению мониторинга состояния эксплуатируемых мостовых сооружений».
- [6] ТР 182-08 «Технические рекомендации по научно-техническому сопровождению и мониторингу строительства большепролетных, высотных и других уникальных зданий и сооружений».

Надійшла 05.11.2015 р.