

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ  
И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УДК 681.518.3

DOI 10.21685/2307-5538-2018-1-4

*Д. А. Ярославцева*ПРИМЕР ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ  
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ  
НА ОБЪЕКТАХ СТАРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ КОСМОДРОМА*D. A. Yaroslavtseva*CASE OF INTELLIGENT DATA-MEASURING SYSTEMS  
IMPLEMENTATION AT SPACE CENTER  
LAUNCHING FACILITIES

**А н н о т а ц и я. Актуальность и цели.** Показана общая проблема повышения безопасного функционирования космических ракетных комплексов и наземной космической инфраструктуры космодрома «Байконур». Целью работы является совершенствование системы безопасности космодрома «Байконур» с использованием нового класса информационно-измерительных систем – интеллектуальных систем мониторинга и контроля. **Материалы и методы.** Используются методы математического и имитационного моделирования при создании информационно-измерительных систем нового поколения. Применено имитационное моделирование для анализа структурных схем интеллектуальных систем мониторинга и контроля. **Результаты.** Показаны базовые структуры интеллектуальных систем мониторинга и контроля, их технические характеристики и результаты внедрения на стартовых комплексах «Союз» космодрома. **Выводы.** Отмечено, что эксплуатация представленных интеллектуальных систем мониторинга и контроля позволит повысить безопасность боевого расчета и снизить риски аварий и техногенных катастроф. Представленные интеллектуальные системы мониторинга найдут широкое применение на космодромах «Плесецк» и «Восточный».

**A b s t r a c t. Background.** Shared problem of improving safe operation for both launch vehicles and ground-based space infrastructure of Baikonur Space Center has been presented. This paper objective includes development of the safety system at Baikonur Space Center by means of new-class data-measuring systems – intelligent monitoring and control systems. **Materials and methods.** Mathematical and simulation model approaches have been used while developing next-gen data-measuring systems. Simulation modelling has been applied to analyze block diagram models of intelligent monitoring and control systems. **Results.** Basic structures of intelligent monitoring and control systems, their performance specifications and implementation results at Soyuz launching facilities have been presented. **Conclusions.** It is stated that operation of the presented intelligent monitoring and control systems will provide further safety for operational crew and risk mitigation of failures and technological disasters. The present-

ed intelligent monitoring and control systems will become widely used at Plesetsk and Vostochny Space Centers.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** информационно-измерительная система, интеллектуальная система мониторинга и контроля, наземная безопасность, космический ракетный комплекс, наземная космическая инфраструктура, стартовый комплекс.

**Key words:** data-measuring system, intelligent monitoring and control system, ground-based safety, launch vehicle, ground-based space infrastructure, launch facilities.

Задачи, стоящие перед ракетно-космической техникой (РКТ), год от года усложняются и, соответственно, значительно возрастает цена их решения. В связи с этим надежное и безаварийное функционирование технически сложных объектов (ТСО) космических ракетных комплексов (КРК) и наземной космической инфраструктуры (НКИ) космодромов приобрело одно из доминирующих значений в общей проблеме повышения безопасности КРК и НКИ [1, 2].

Анализ аварий и техногенных катастроф последних десятилетий показал, что традиционные информационно-измерительные системы (ИИС) не способны в полной мере обеспечить подготовку и принятие обоснованных управленческих решений в условиях неопределенности поведения ТСО и быстро меняющейся обстановки. Это объясняется применением разобщенных ИИС, когда излишняя локализация данных систем может привести к катастрофическим последствиям для ТСО КРК и НКИ космодрома.

Анализ основных тенденций развития современных ТСО КРК и НКИ показывает, что ТСО имеют целый ряд особенностей, среди которых следует выделить: многоаспектность, отсутствие строгой регламентации и структуризации технологий управления, избыточность основных элементов и подсистем, связей между ними, территориальную распределенность их компонент.

В настоящее время возросла потребность построения нового класса высокоэффективных и высоконадежных информационно-измерительных систем – интеллектуальных систем мониторинга и контроля технологических процессов, позволяющих обеспечивать и контролировать безопасность технологических операций при эксплуатации технических средств ТСО КРК и НКИ [3, 4].

Данная потребность определена следующими основными факторами:

- возросшими требованиями к повышению контроля безопасности технологического процесса;
- возросшей сложностью создаваемых технических средств;
- появлением мощных компактных и недорогих измерительных и управляющих устройств, обусловленных прогрессом в областях вычислительной техники, программного обеспечения и телекоммуникаций;
- повышением степени автоматизации и перераспределением функций между человеком и аппаратурой.

Впервые с учетом международного опыта, с целью совершенствования системы безопасности космодрома «Байконур» в ходе реализации государственных контрактов в АО «НИИФИ» на основе мониторинговых интеллектуальных датчиков физических величин созданы интеллектуальные системы мониторинга и контроля (СМиК) наземной безопасности стартовых комплексов (СК) «Союз». Интеллектуальные СМиК обеспечивают мониторинг и контроль выполнения опасных и особо опасных операций при подготовке ракет космического назначения (РКН) на стартовом комплексе к пуску с целью исключения нарушений технологической дисциплины персоналом расчета и снижения рисков возникновения инцидентов и аварий на стартовом комплексе, ведущих к гибели персонала и разрушению сложных инженерных сооружений [5].

На рис. 1 представлена обобщенная структура интеллектуальных СМиК, функционально разделяющаяся на три подсистемы:

- подсистема контроля процентного содержания кислорода и температуры трубопроводов с пероксидом водорода;
- подсистема контроля номеров расчета в опасных рабочих зонах СК;
- подсистема видеонаблюдения.



Рис. 1. Структурная схема интеллектуальной СМик

Интеллектуальные СМик предназначены для:

- постоянного контроля процентного содержания кислорода в рабочих зонах стартового комплекса, передачи информации на дисплей оператора по наземной безопасности;
- выдачи светового и звукового сигнала для оповещения персонала о предельно допустимых значениях процентного содержания кислорода и необходимости немедленно покинуть аварийное помещение или сооружение;
- измерения температуры магистралей с перекисью водорода, передачи данных на дисплей оператора по наземной безопасности, выдачи предупреждения о превышении допустимой температуры;
- допуска номеров расчета в помещения стартового комплекса в соответствии с требованиями технологического графика подготовки РКН к пуску;
- контроля пребывания и позиционирования номеров расчета в опасных зонах стартового комплекса с использованием RFID-технологии;
- визуального контроля средствами промышленного телевидения номеров расчетов в опасных зонах стартового комплекса.

### *Реализация подсистемы контроля процентного содержания кислорода и температуры трубопроводов с перексидом водорода*

Структурная схема подсистемы контроля процентного содержания кислорода и температуры трубопроводов с перексидом водорода представлена на рис. 2.

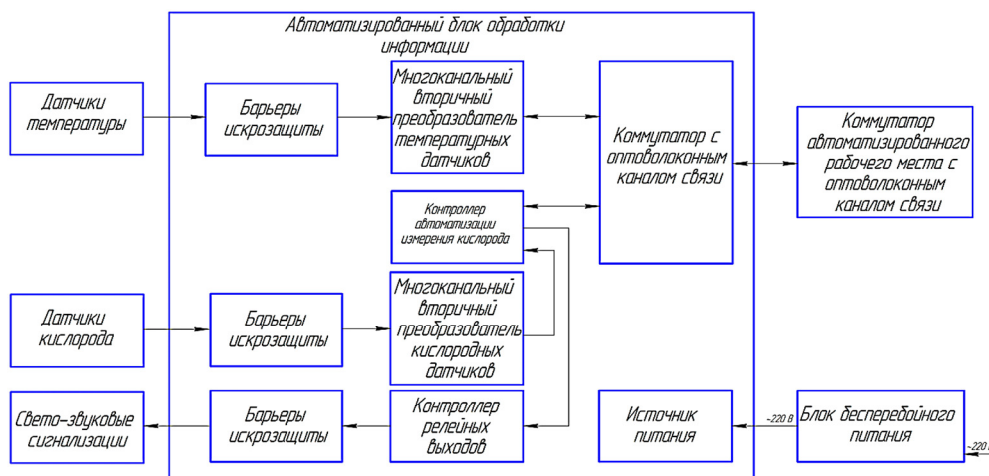


Рис. 2. Структурная схема подсистемы контроля процентного содержания кислорода и температуры трубопроводов с перексидом водорода

Для данной подсистемы был разработан автоматизированный блок обработки информации, который обеспечивает работу подсистемы на СК [6, 7].

Данные с датчиков кислорода по интерфейсу 4–20 мА через барьеры искрозащиты поступают на многоканальный вторичный преобразователь кислородных датчиков, в котором данные преобразуются в цифровой вид и передаются по интерфейсу RS-485 на контроллер измерения кислорода. Контроллер измерения кислорода в свою очередь производит оценку значений измеренных величин и в зависимости от показаний дает команду на контроллер релейных выходов об активации сигнализаций в тех помещениях, где возникла опасность для жизни людей. Контроллер релейных выходов включает реле и подает питание на светозвуковые сигнализации через барьеры искрозащиты. Контроллер измерения кислорода отправляет данные на коммутатор с оптоволоконным выходом. Данные с датчиков температуры по интерфейсу 4–20 мА через барьеры искрозащиты поступают на многоканальный вторичный преобразователь температурных датчиков, в котором данные преобразуются в цифровой вид и передаются на коммутатор с оптоволоконным выходом. Данные с коммутатора по оптоволоконной линии связи отправляются на автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора.

Датчики кислорода с цифровым выходом и встроенным реле производят измерения в удаленных точках. К релейным выходам датчиков подключены светозвуковые сигнализации, которые срабатывают при недопустимом значении процентного содержания кислорода в удаленных точках рабочей зоны СК.

Экранная форма представления данных по процентному содержанию кислорода и температуре трубопроводов с пероксидом водорода представлена на рис. 3.



Рис. 3. Экранная форма программного обеспечения контроля процентного содержания кислорода и температуры трубопроводов с пероксидом водорода

При возникновении опасности в помещениях рабочей зоны СК, связанной с недопустимой концентрацией кислорода, автоматизированный блок обработки информации выдает команду включения светозвуковых сигнализаций без участия оператора.

### **Реализация подсистемы контроля номеров расчета в опасных рабочих зонах СК**

Для реализации данной подсистемы используются RFID-технологии (англ. *Radio Frequency Identification* – радиочастотная идентификация). Данная технология имеет два типа элементов:



- пассивные;
- активные.

Пассивными элементами являются LF (Low Frequency) и RF (Radio Frequency) считыватели.

LF-считыватели – низкочастотные ультракоротковолновые (УКВ) излучатели малого радиуса действия, работают на частоте 125 кГц в радиусе 3 м с круговой диаграммой направленности, позволяют расширять функциональность RFID-системы и уточнять местоположение контролируемых объектов.

Установленные вблизи дверных проемов LF-считыватели фиксируют прохождение контролируемого объекта через дверной проем в ту или иную сторону. При попадании RFID-бейджа в электромагнитное поле LF-считывателя формируется сообщение об этом событии, которое передается на RF-считыватель и далее на АРМ оператора.

RF-считыватель – стационарный, устанавливаемый внутри помещений, работает на частоте 433 МГц. Считыватель предназначен для обнаружения и фиксации в режиме реального времени местоположения и состояния активных RFID-бейджей. Считыватель поддерживает стандартные сетевые соединения и протоколы и легко интегрируется в проводные и беспроводные Ethernet/Wi-Fi сети для передачи данных на сервер.

Считыватели поддерживают большое количество бейджей и принимают с них информацию на расстоянии до 30 м с круговой диаграммой направленности, легко конфигурируются для различных пользовательских применений.

RFID-бейдж (персональная карта) – унифицированное устройство для работы с LF- и RF-считывателями, имеет возможность нанесения на него фото и записи персональных данных.

Бейдж представляет собой радиопередатчик, работающий на частоте 433 МГц, который непрерывно направляет сообщения LF- и RF-считывателям.

Бейдж имеет две сигнальные программируемые кнопки, которые предназначены для отправления двух видов сообщений (тревожных или диагностических). При нажатии одной из кнопок номер расчета может проинформировать оператора АРМ о возникшей во время работы неисправности или аварийной ситуации на территории опасной зоны. Поэтому при возникновении аварийной ситуации оператор всегда имеет информацию о номерах расчета, находящихся на территории опасной зоны.

### *Реализация подсистемы видеонаблюдения*

Долгое время все системы видеонаблюдения были исключительно аналоговыми. Их основными элементами являются камеры наблюдения – относительно простые оптические приборы без встроенных средств обработки информации. Видеорегистраторы, предназначенные для записи видеосигнала на кассету или жесткий диск, были, как правило, тоже аналоговые.

В IP-решениях сетевая камера превращается из пассивного «наблюдателя» в специализированный мини-компьютер, включающий в себя цифровую матрицу, процессор, твердотельный накопитель, сетевую карту, аудиосистему, операционную систему (ОС), специализированное программное обеспечение (ПО) для обработки видео, средства интеллектуального анализа и удаленного управления, всевозможные датчики и т.д.

Роль видеорегистратора в цифровых системах могут выполнять обычные компьютеры с установленным на них соответствующим ПО (как вариант – еще и со специальными платами, которые занимаются обработкой видео/аудиосигнала с камер, позволяя разгрузить собственные ресурсы персонального компьютера (ПК). Запись видеосигнала может осуществляться также на сетевой сервер (NAS) или на внутренний твердотельный накопитель самой IP-камеры.

Благодаря технологиям PoE (англ. Power over Ethernet – технология, позволяющая передавать удаленному устройству электрическую энергию вместе с данными через стандартную витую пару в сети Ethernet) IP-камера может получать питание по той же витой паре, по которой передается информация.

Немаловажную роль в работе систем видеонаблюдения, особенно цифровых, играет специальное ПО, устанавливаемое на компьютер. Именно оно дает в руки оператора инстру-

ментарий, позволяющий осуществлять эффективное видеонаблюдение, детальный анализ событий, управление и настройку целой сети видеокамер.

Подсистема видеонаблюдения предназначена для регистрации видеоинформации, поступающей от систем и агрегатов СК.

Подсистема видеонаблюдения должна обеспечить реализацию следующего набора функций:

- получение первичной видео- и аудиоинформации с удаленных объектов;
- возможность настройки продолжительности, скорости и режима видеозаписи;
- управление видеооборудованием с поддержкой графических представлений планов объекта;
- передача данных с объектов контроля на пункты контроля по каналам связи;
- регистрация видеоданных на жестких дисках (на серверах системы видеорегистрации);
- запись архивированных видеоданных на сменный носитель.

Подсистема видеонаблюдения АРМ оператора интеллектуальной СМиК представлена совокупностью видеоконтрольных устройств, каналов связи и видеокамер, управляемых с пульта руководителя работ.

Реализация автоматизированного рабочего места оператора представлена на рис. 4.



Рис. 4. Внешний вид автоматизированного рабочего места оператора интеллектуальной СМиК

По функциональным особенностям АРМ оператора интеллектуальной СМиК разделено на три составляющие:

- АРМ подсистемы контроля процентного содержания кислорода и температуры трубопроводов с пероксидом водорода;
- АРМ подсистемы контроля номеров расчета в опасных рабочих зонах СК;
- АРМ подсистемы видеонаблюдения.

АРМ оператора интеллектуальной СМиК выполняет следующие функции:

- цифровое и графическое отображения на экране мониторов ПЭВМ измеряемых параметров и сведений о номерах расчета;
- выдачу оператору световых и звуковых сигналов при отклонении значений измеряемых параметров от заданных требований;
- запись и хранение результатов всех измерений на жесткий диск ПЭВМ;
- распечатку при необходимости результатов измерений.

Операторы интеллектуальной СМиК при выполнении задач подготовки и пуска РКН обеспечивают:

- визуальный контроль средствами промышленного телевидения за номерами расчета в опасных рабочих зонах СК;
- допуск номеров расчета в помещения СК и контроль их пребывания в этих помещениях в соответствии с технологическим графиком подготовки РКН к пуску;
- контроль измерения данных по процентному содержанию кислорода в опасных зонах СК (с предупреждением персонала в помещениях СК о превышении допустимых значений процентного содержания кислорода);
- контроль измерения данных о температуре трубопроводов заправки пероксидом водорода, с предупреждением о превышении температуры трубопровода.

Технические характеристики интеллектуальных СМиК представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики интеллектуальных СМиК

| Наименование  | Единица измерения | Значение                              |
|---|-------------------|---------------------------------------|
| Диапазон измерения температуры трубопровода с пероксидом водорода<br>Абсолютная погрешность<br>Сигнализация о превышении температуры от 30 до 35°C  | °C                | от –10 до 35<br>±0,5<br>+             |
| Диапазон измерений процентного содержания кислорода в воздухе<br>Нижнее значение безопасного процентного содержания кислорода<br>Верхнее значение безопасного процентного содержания кислорода<br>Абсолютная погрешность<br>Выдача сигнала для светового и звукового оповещения | %                 | от 15 до 25<br>19<br>23<br>± 0,5<br>+ |
| Сигнализация о проходе персонала в сооружениях и помещениях стартового комплекса  |                   | +                                     |
| Отображение на экране монитора сведений о нахождении в сооружениях и помещениях стартового комплекса персонала с индивидуальными электронными пропусками  |                   | +                                     |
| Визуальный контроль средствами промышленного телевидения действий персонала в опасных рабочих зонах   |                   | +                                     |
| Потребляемая мощность   | кВА               | 4,3                                   |
| Диапазон рабочих температур:<br>– на открытом воздухе<br>– в закрытых помещениях  | °C                | от –40 до 55<br>от 15 до 35           |
| Назначенный ресурс  | ч                 | 50000                                 |
| Срок службы   | лет               | 10                                    |

По результатам анализа информации, полученной при выполнении операций технологических графиков подготовки и пуска РКН, оператору необходимо принимать своевременные соответствующие решения по обеспечению требований безопасности.

Интеллектуальные СМиК обеспечивают интегрированный контроль указанных выше параметров, что позволяет одному оператору адекватно принимать решения о приостановке работ или эвакуации обслуживающего персонала на основании полученных данных от датчиков кислорода (где утечка), видеонаблюдения, допуска и позиционирования номеров расчета, которые находятся в опасной зоне. Подсистема допуска и позиционирования имеет обратную связь (тревожная кнопка), которая позволяет в кратчайшие сроки эвакуировать конкретного человека.

Также интеллектуальные СМиК позволяют проверить, уполномочено или нет конкретное лицо находиться в определенной зоне в определенное время.

Персонализация нахождения номеров расчета в зоне выполнения работ позволяет оператору отслеживать в соответствии с технологическим графиком подготовки к пуску РКН правильность действий боевого расчета (конкретная операция, время, место, безопасность зоны).

Применение интеллектуальных СМиК позволило повысить безопасность обслуживающего персонала и снизить риск аварийных ситуаций на СК.

Представленные здесь интеллектуальные СМиК смонтированы, проведены автономные испытания, они введены в эксплуатацию на стартовых комплексах «Союз» космодрома «Байконур», сертифицированы в федеральной системе сертификации космической техники (№ ФССКТ 134.01.1.4.767800.123.14; № ФССКТ 134.01.1.4.767800.103.14) и в настоящее время успешно функционируют на стартовых комплексах «Союз» площадки № 1 и № 31 космодрома «Байконур».

### *Библиографический список*

1. Дмитриенко, А. Г. Интеллектуальная система мониторинга состояния технически сложных объектов / А. Г. Дмитриенко, А. В. Николаев, А. В. Блинов // Современные информационные технологии : сб. ст. Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза : ПГТА, 2011. – Вып. 14. – С. 5–10.
2. Дмитриенко, А. Г. Распределенная интеллектуальная система мониторинга состояния объектов РКТ / А. Г. Дмитриенко, А. В. Николаев, А. В. Блинов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Сер.: Технические науки. – 2011. – № 04 (04). – С. 13–23.
3. Николаев, А. В. Комплексы и системы распределенных сетей интеллектуальных датчиков / А. В. Николаев, М. В. Тюрин, В. Н. Новиков // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего. Сер.: Технические науки. – 2012. – С. 52–62.
4. Дмитриенко, А. Г. Обоснование метода прогнозирования технического состояния систем стартовых и технических комплексов космодрома с использованием мониторинговой информации / А. Г. Дмитриенко, А. В. Николаев, М. Ю. Михеев, М. В. Тюрин, И. Ю. Семочкина // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2016. – № 4 (18). – С. 6–12.
5. Ярославцева, Д. А. Создание интеллектуальной системы мониторинга и контроля наземной безопасности стартового комплекса (площадка № 1) космодрома «Байконур» / Д. А. Ярославцева, Д. Д. Вязьмитинов // Всероссийская молодеж. науч.-практ. конф. «Орбита молодежи» и перспективы развития российской космонавтики» (8–9 сентября 2016 г.) : сб. материалов конф. – Самара, 2016. – С. 48–49.
6. Николаев, А. В. Применение имитационного моделирования для анализа структурных схем измерительно-вычислительных комплексов / А. В. Николаев, Б. В. Цыпин, М. В. Тюрин, Д. А. Ярославцева // Тр. Междунар. симпозиума Надежность и качество. – 2017. – Т. 1. – С. 58–62.
7. Николаев, А. В. Использование имитационного моделирования для анализа структурных схем информационно-измерительных и управляющих систем / А. В. Николаев, Б. В. Цыпин, Д. А. Ярославцева // Новые информационные технологии и системы : сб. науч. ст. XIV Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 70-летию кафедры «Вычислительная техника» и 30-летию кафедры «Системы автоматизированного проектирования» (г. Пенза, 22–24 ноября 2017 г.). – Пенза : Изд-во ПГУ, 2017. – С. 80–83.

#### **Ярославцева Дарья Александровна**

аспирант, инженер-конструктор,  
Научно-исследовательский институт  
физических измерений  
(Россия, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10)  
E-mail: levik\_92@mail.ru

#### **Yaroslavtseva Daria Aleksandrovna**

postgraduate student, design engineer,  
Scientific-research Institute  
of physical measurements  
(8/10 Volodarskogo street, Penza, Russia)

УДК 681.518.3

#### **Ярославцева, Д. А.**

**Пример внедрения интеллектуальных информационно-измерительных систем на объектах стартовых комплексов космодрома** / Д. А. Ярославцева // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2018. – № 1 (23). – С. 24–31. DOI 10.21685/2307-5538-2018-1-4.