

УДК 621.398.001

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СИСТЕМ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

**Кокин В.В., Портнов Е.М., Слюсарь В.В., Хремин Д.Н., Чжо Зин Лин**

*Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»,  
Москва, e-mail: evgen\_uis@mail.ru*

В настоящее время актуальной является проблема повышения надежности функционирования объектов энергетики, что делает необходимым проведение исследований, связанных с оценкой эффективности используемых для контроля и управления эксплуатирующегося оборудования электрических станций систем телемеханики. С учетом давно назревшей необходимости модернизации и замены многих морально и физически устаревших систем актуальной является проблема оценки и повышения качества современных систем телемеханики. Традиционно качество систем телемеханики оценивают потенциально возможными количествами используемых каналов управления в совокупности с числом и типом датчиков и объектов управления. Остальные качественные и информационные характеристики систем растворяются в общесистемных показателях достоверности, надежности, помехоустойчивости, оперативности, что делает оценку их качества весьма далекой от реального состояния систем. В работе предлагается комплексный подход к оценке качества систем телемеханики, который основан на интеграции в рамках единого критерия основных информационных параметров системы: достоверности, надежности, быстродействия. В качестве примера приведена методология определения качества подсистемы телесигнализации.

**Ключевые слова:** система телемеханики, качество, достоверность, надежность, быстродействие, кодирование, централизованный контроль

## INVESTIGATION OF PROBLEMS ESTIMATION OF QUALITY REMOTE CONTROL SYSTEMS

**Kokin V.V., Portnov E.M., Slyusar V.V., Khremin D.N., Kyaw Zin Lin**

*National Research University of Electronic Technology, Moscow, e-mail: evgen\_uis@mail.ru*

At present is a very urgent problem of improving the reliability of operation of energy facilities, which makes it necessary to conduct research related to the evaluation of the effectiveness used for the control and management of power plants operate the equipment remote control systems. In view of the long overdue need to modernize and replace many old and obsolete systems, it is the actual problem of assessing and improving the quality of modern remote control systems. Traditionally, the quality of supervisory systems evaluate potentially possible number of channels used by management, together with the number and type of sensors and control objects. The rest of the qualitative characteristics of information systems and dissolve in the system-wide indicators of reliability, performance, noise immunity, efficiency, making an assessment of their quality is very far from the real state of the system. The paper proposes a comprehensive approach to assessing the quality of the remote control system, which is based on integration within the single criterion of basic information of system parameters: accuracy, reliability, performance. As an example, see the methodology for determining the quality of remote signaling subsystem.

**Keywords:** remote control system, quality, integrity, reliability, speed, encryption, centralized control

В настоящее время системы телемеханики широко используются в электроэнергетике для решения задачи достоверной передачи информации от удаленных контролируемых пунктов (КП) на центральный пункт управления (ЦПУ).

Принимая во внимание широкую гамму систем телемеханики различных производителей, которые эксплуатируются на энергообъектах России и стран СНГ, а также давно назревшую необходимость модернизации и замены многих морально и физически устаревших систем, можно считать актуальной проблему оценки и повышения их качества.

Традиционно качество систем телемеханики оценивают потенциально возможными количествами используемых каналов управления в совокупности с числом и типом датчиков и объектов управления. Остальные качественные и информационные харак-

теристики систем растворяются в общесистемных показателях достоверности, надежности, помехоустойчивости [9, 10].

Подобный подход не дает возможность объективно сравнивать качество систем в целом, а также их отдельных подсистем разных производителей. Кажущаяся привлекательность параметров рекламируемых систем может приводить к существенному ухудшению помехоустойчивости, достоверности информации и возникновению аварийной ситуации. Приведем несколько примеров.

В ряде систем телемеханики для управления электроснабжением железных дорог, для информационного обмена КП с ЦПУ по магистральному проводному каналу связи используется протокол Modbus. В таких системах реализуется циклическая передача данных всех КП, то есть в одинаковые условия ставятся КП, подготовившие для

передачи важные данные, в том числе и аварийные, и КП, передающие сообщения, не содержащие новой информации. Это снижает реальную оперативность доставки в ЦПУ важной (аварийной) информации [6].

Предлагается для повышения системной оперативности использовать разработанный способ централизованного опроса [4, 7, 9], который состоит в следующем.

При приеме от ЦППС общей (глобальной) команды централизованного опроса все КП с разделением во времени передают признаки наличия или отсутствия данных для передачи в ЦПУ. Для повышения достоверности признаки наличия или отсутствия новых данных передаются каждым КП в виде байта 11110000 – при наличии данных, или 00000000 – при отсутствии данных для передачи.

Коэффициент повышения реальной скорости информационных обменов –  $\beta$  за счет введения разработанного способа приоритетного централизованного опроса можно представить отношением времен цикла приема данных для стандартного (циклического) и нового централизованного способов [4, 7, 9].

$$\beta = \frac{T_{\text{стан}}}{T_{\text{центр}}} = \frac{n(N+2)}{2N - n_d + n + 2}, \quad (1)$$

где  $N$  – общая длина информационной посылки;  $n$  – количество КП в УИС;  $n_d$  – число бит в поле данных информационной посылки.

Использование нового способа централизованного опроса позволяет значительно повысить реальную скорость информационных обменов. Например, для среднестатистической системы, включающей 32 КП, эффективность информационного обмена возрастает в 15 раз [4, 7, 9].

Используемый метод нивелирует зависимость точности фиксации передаваемых признаков от числа КП, подключенных к одной магистрали. Кроме значительного повышения реальной системной оперативности, применение централизованного опроса обеспечивает также возможность применения в одной системе телемеханики нескольких магистральных каналов связи и их сочетания с каналами произвольной конфигурации.

Для определения показателя реально-го быстродействия системы необходимо также учитывать вероятность обнаружения приемником искажения информации, в результате чего потребуются повторная передача. В таком случае реальное бы-

стродействие (оперативность) следует определять по формуле [4, 7, 9]:

$$T_{\text{реал. зад}} = T_{\text{зад}} + P_{\text{иск}} \times (T_{\text{ож. квит.}} + T_{\text{зад}} + T_{\text{гот. перел}}), \quad (2)$$

где  $T_{\text{зад}}$  – суммарное время задержки передачи информации КП-ЦПУ;  $P_{\text{иск}}$  – вероятность искажения однократно принятого сообщения;  $P_{\text{иск}} = N \cdot P_1$ ,  $P_1 = 10^{-3} - 10^{-4}$  – вероятность однократного искажения информации помехами в канале связи;  $T_{\text{ож. квит.}}$  – время ожидания квитанции, которая подтверждает нормальный прием информации. Чаще всего диапазон времени ожидания – 1...10 с;  $T_{\text{гот. перел}}$  – время задержки между фиксацией факта необходимости повторной передачи информации и готовностью передатчика реализовать повторный вывод данных.

Расчет по формуле (2) позволяет более обоснованно оценивать реальное быстродействие системы телемеханики. В частности, показатели быстродействия для «традиционного» и «предложенного» способов различаются в 3–5 раз.

В современных системах телемеханики важнейшее значение придается привязке «событий» – изменений данных, к меткам времени. Однако многие производители точность привязки данных к меткам времени подменяют ее дискретностью, причем привязка данных к меткам времени реализуется не в момент появления «события», а при вводе данных о «событии» в центральный контроллер. Упускается из виду, что важно фиксировать не только абсолютное время возникновения «событий», но и их последовательность. Привязка «событий» к меткам времени в центральном контроллере, а не в модуле, фиксирующем «события», может привести к искажению их последовательности, т.к. время «события» оказывается зависимым от порядка опроса контроллером данных модулей ввода телесигнализации.

Рассмотрим предложенный принцип формирования относительных меток времени. Модуль-источник информации формирует две относительные метки времени:

– первая метка времени определяет временные сдвиги между первым и каждым последующим «событием», зафиксированным модулем;

– вторая метка времени, общая для всех «событий», зафиксированных модулем-источником информации, соответствует временному сдвигу между моментами фиксации первого «события» и вывода накопленной информации из модуля-источника.

Любой модуль-ретранслятор информации от модуля-источника информации

формирует одну относительную метку времени, которая соответствует временному сдвигу между вводом и выводом информации.

Предложенный принцип обеспечивает точность привязки последовательности «событий» к системному или астрономическому времени не хуже 1–2 мс.

Одним из общепринятых методов повышения достоверности информации является использование помехозащитных кодов. Однако зачастую процедуры помехоустойчивого кодирования реализуются не при вводе данных, а при их передаче по каналу связи КП-ЦПУ [1–3]. В такой структуре, например подсистемы телесигнализации (ТС), не учитывается, что основным источником помех, искажающих информацию, является не канал связи КП-ЦПУ, а цепи ввода информации от датчиков. Связано это с тем, что в современных системах телемеханики, при сохранении достаточно высокого уровня помех в цепях связи с датчиками, многократно увеличилась скорость ввода данных при одновременном снижении рабочего тока и напряжения в цепях связи устройства с датчиками. Снижение энергии рабочего сигнала требует применения более действенных методов подавления помех, проникающих в устройство КП по входным цепям.

Проведенный авторами анализ стандартных методов кодирования показал, что наиболее эффективным методом обнаружения искажений является создание условий, при которых каждое устройство трассы доставки сигнала от датчика к приемнику будет протестировано «в динамике», т.е. будет проверена его адекватная реакция на сигнал «1» и «0». В идеале это приводит к необходимости совмещения процедур ввода информации от датчика и кодирования сообщения. Код, отображающий состояние всех датчиков, назовем «биимпульсный корреляционный код», поскольку в кодированном сообщении состояние каждого датчика отображается двумя импульсами «01» или «10», причем второй бит пары жестко связан с первым. Указанный код не дает объективной картины о работоспособности не только кодера, но и цепей его связи с датчиками.

В разработанном биимпульсном условно корреляционном коде (БУКК) инверсия второго бита пары – «условная» и ставится в зависимость от результата диагностики цепей связи с датчиками. Он инвертируется только тогда, когда при динамическом контроле не обнаружено искажений. В этом случае биимпульсная пара принимает вид «10» или «01». При обнаружении искажений код превращается в «11» (короткое за-

мыкание) или в «00» (разрыв цепи связи с датчиками), давая возможность за счет двух «неразрешенных» комбинаций определить место и вид искажения. Чтобы избежать неоднозначности декодирования, в информационное сообщение, кроме сформированной группы биимпульсных кодов, дополнительно включена контрольная последовательность кода (КПК), сформированная в виде остатка от деления основного полинома циклического кода – образованной группы биимпульсных кодов, на образующий полином.

Процедуры кодирования совмещаются с вводом данных в модуль ТС, в результате чего оказывается возможным использовать для оценки качества подсистемы ТС интегральный показатель, учитывающий помехоустойчивость, достоверность, надежность и оперативность данных [1–3].

Полученный показатель интегральной достоверности определяется по вероятности необнаруживаемого искажения информации:

$$P_{\text{необ иск}} = P_{\text{ввод}} + P_{\text{кс}} + P_{\text{кодер}} + P_{\text{декодер}} \quad (3)$$

где  $P_{\text{ввод}}$  – вероятность искажения при вводе сигнала от датчика;  $P_{\text{кс}}$  – вероятность искажения при передаче информации по каналу связи;  $P_{\text{кодер}}$  – вероятность искажения при кодировании;  $P_{\text{декодер}}$  – вероятность искажения при декодировании информации на стороне приемника.

Некоторые производители в качестве показателя «современности» систем телемеханики указывают на поддержку международного протокола IEC 61870-5-104 для информационных обменов КП с ЦПС по цифровым каналам связи [5]. Причем «поддержка» протокола ограничивается введением в центральный контроллер кодера, который преобразует данные в формат «поддерживаемого» протокола. В результате важные для увеличения достоверности свойства протокола, например отображение состояния каждого ТС биимпульсным кодом, не реализуется.

Более того, качество подсистемы ТС ухудшается, так как возможные искажения информации помехами во входных цепях маскируются введением биимпульсного кода в передатчике данных по каналу связи [1, 3, 8, 10].

Приведенные недостатки свойственны и системам, построенным на базе программно-логических контроллеров (ПЛК), которые изначально были ориентированы на применение в локальных информационно-управляющих системах, а затем адаптированы для применения в системах управления в энергетике. Характерно, что

в базовые стандарты на ПЛК – ИЕС 61131-2:2006 «Микроконтроллеры программируемые. Часть 2: Требования к оборудованию и методы испытаний», не введены требования к надежности, а показатель достоверности вообще отсутствует. Приведенные примеры подчеркивают необходимость использования методов, позволяющих объективно оценить качество подсистем и системы управления в целом. Приведем особенности предложенной методики оценки качества систем телемеханики.

Качество подсистемы ТС определяется вероятностью необнаруживаемого искажения: помехами, действующими во входной цепи; неисправностью элементов модуля ввода ТС; неисправностью и помехами на любом участке трассы доставки данных от модуля до канала связи КП-ЦПУ; помехами в канале связи КП-ЦПУ; неисправностью любого элемента ЦПУ от канала связи до средства приема, отображения или хранения данных.

К указанным показателям добавляется вероятность превышения установленного предела (например, 1–2 мс) погрешности привязки: любого «события» к абсолютному времени; последовательности «событий» к абсолютному времени.

При анализе подсистемы ТС учитываются факторы, снижающие качество подсистемы, вызванные принятием указанных выше мер: уменьшение надежности доставки информации от датчика до средства отображения, вызванное введением дополнительных элементов; увеличение времени доставки информации от датчика приемнику из-за специальных мер для повышения качества.

Для каждого показателя качества устанавливается (в том числе и потребителем) весовой коэффициент  $K_{ТС}$ , а вычисляемый показатель качества  $R_{кач}$  определяется по формуле

$$R_{кач} = \sum_i K_{ТС_i} \frac{1}{\alpha_i} \frac{T_{мин_i}}{T_{P_i}}, \quad (4)$$

где  $\alpha_i$  – реально достигаемая величина  $i$ -й составляющей оценки качества (вероятности необнаруженного искажения,

оперативности, надежности);  $\frac{T_{мин_i}}{T_{P_i}}$  – от-

ношение минимально необходимого и реально достигаемого значения времени доставки информации от датчика до средства отображения. Из формулы (4) видно, что интегральный показатель качества снижается при увеличении времени доставки информации приемнику, если какие-либо процедуры повышения

качества ТС приводят к уменьшению оперативности подсистемы.

Например, при

$$\alpha_i = \alpha = 10^{-16}; \quad K_{ТС_i} = K_{ТС} = 10^{-14}; \quad \frac{T_{мин_i}}{T_{P_i}} = \frac{1}{5},$$

получим  $R_{кач} = 1,4 \cdot 10^2$ .

Расчет показателя качества подсистемы ТС по представленной выше методике показал, что  $R_{кач\_мет} = 5 \cdot 10^3$ , т.е. на порядок выше, чем для стандартных систем.

### Выводы

Таким образом, по материалам данной работы можно сделать выводы о том, что высокий показатель качества предложенной системы телемеханики достигается:

- совмещением процедуры ввода и одновременного кодирования ТС;

- формированием при вводе нового биимпульсного условно корреляционного кода, позволяющего перейти от оценки отдельных показателей – помехоустойчивости, надежности и достоверности – к обобщающему показателю – интегральной достоверности информации [1–3, 8, 10];

- автономным формированием модулем ввода ТС относительных меток времени, с помощью которых с погрешностью не более 1–2 мс вычисляется как абсолютное время «событий», так и их последовательность;

- формированием модулем ввода ТС всех основных компонентов используемого протокола передачи информации по каналу связи КП-ЦПУ, в результате чего практически исключается необнаруживаемое искажение информации из-за неисправности любого модуля, участвующего в доставке данных от датчика к средству отображения (хранения информации) [5].

### Список литературы

1. Баин А.М., Дубовой Н.Д., Портнов Е.М., Сидоренко Н.И. Способ повышения достоверности команд управления распределительными электросетями в теплоэнергетике // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – М.: ФГУП ВИМИ, 2012. – № 3. – С. 86–93.
2. Баин А.М., Дубовой Н.Д., Портнов Е.М., Чумаченко П.Ю. Способ повышения достоверности телесигнализации в системах управления энергообеспечением объектов различного назначения // Оборонная техника. – 2012. – № 4–5. – С. 40–41.
3. Баин А.М., Портнов Е.М., Чжо Зо Е. Повышение достоверности передачи сигналов состояния силового оборудования в энергетике // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – М.: ФГУП ВИМИ, 2014. – № 4. – С. 16–20.
4. Баин А.М., Портнов Е.М., Чжо Зо Е. Способ централизованного контроля магистральных объектов с различными приоритетами // Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2015. – № 1. – С. 154–160.

5. Баин А.М., Портнов Е.М., Слюсарь В.В., Каунг С., Чжо Зин Лин Методика повышения оперативности систем SCADA при использовании протокола МЭК 870-5-101 // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2; URL: <http://www.science-education.ru/122-21221> (дата обращения: 11.08.2015).

6. Кокин В.В., Портнов Е.М. Методика снижения интенсивности аварийных потоков канала управления систем телемеханики // Актуальные проблемы современной науки. – 2016. – № 2. – С. 314–316.

7. Портнов Е.М., Баин А.М., Чумаченко П.Ю., Сидоренко Н.И. Методика повышения эффективности использования магистральных каналов связи информационно-управляющих систем в энергетике // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – М.: ФГУП ВИМИ, 2012. – № 2. – С. 68–73.

8. Портнов Е.М., Слюсарь В.В., Дубовой Н.Д., Сидоренко Н.И. Методика обеспечения высокого уровня интегральной достоверности систем управления в энергетике // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – М.: ФГУП ВИМИ, 2012. – № 3. – С. 13–17.

9. Портнов Е.М., Слюсарь В.В., Энергосберегающие комплексы повышенной достоверности // Оборонная техника. – 2012. – № 4–5. – С. 12–16.

10. Портнов Е.М., Чжо З.Е., Тайк А.Ч., Чжо З.Л. Исследование теоретических подходов к повышению достоверности технической диагностики // Научное обозрение. – 2015. – № 14. – С. 134–138.

### References

1. Bain A.M., Dubovoj N.D., Portnov E.M., Sidorenko N.I. Sposob povysheniya dostovernosti komand upravleniya raspredelitelnyimi jelektrosetjami v teplojenergetike // Оборонный комплекс научно-техническому прогрессу России. М.: FGUP VIMI, 2012. no. 3. pp. 86–93.

2. Bain A.M., Dubovoj N.D., Portnov E.M., Chumachenko P.Ju. Sposob povysheniya dostovernosti telesignalizacii v sis-

temah upravlenija jenergoobespecheniem obektov razlichnogo naznachenija // Oboronnaja tehnika. 2012. no. 4–5. pp. 40–41.

3. Bain A.M., Portnov E.M., Chzho Zo E. Povyszenie dostovernosti peredachi signalov sostojanija silovogo oborudovanija v jenergetike // Oboronnyj kompleks nauchno-tehnicheskomu progressu Rossii. M.: FGUP VIMI, 2014. no. 4. pp. 16–20.

4. Bain A.M., Portnov E.M., Chzho Zo E. Sposob centralizovannogo kontrolja magistralnyh obektov s razlichnymi prioritetami // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Jelektronika. 2015. no. 1. pp. 154–160.

5. Bain A.M., Portnov E.M., Sljusar V.V., Kaung S., Chzho Zin Lin Metodika povysheniya operativnosti sistem SCADA pri ispolzovanii protokola MJeK 870-5-101 // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2015. no. 2; URL: <http://www.science-education.ru/122-21221> (data obrashhenija: 11.08.2015).

6. Kokin V.V., Portnov E.M. Metodika snizhenija intensivnosti avarijnyh potokov kanala upravlenija sistem telemehaniki // Aktualnye problemy sovremennoj nauki. 2016. no. 2. pp. 314–316.

7. Portnov E.M., Bain A.M., Chumachenko P.Ju., Sidorenko N.I. Metodika povysheniya jeffektivnosti ispolzovanija magistralnyh kanalov svjazi informacionno-upravljajushhih sistem v jenergetike // Oboronnyj kompleks nauchno-tehnicheskomu progressu Rossii. M.: FGUP VIMI, 2012. no. 2. pp. 68–73.

8. Portnov E.M., Sljusar V.V., Dubovoj N.D., Sidorenko N.I. Metodika obespechenija vysokogo urovnja integralnoj dostovernosti sistem upravlenija v jenergetike // Oboronnyj kompleks nauchno-tehnicheskomu progressu Rossii. M.: FGUP VIMI, 2012. no. 3. pp. 13–17.

9. Portnov E.M., Sljusar V.V., Jenergosberegajushhie komplekсы povyshennoj dostovernosti // Oboronnaja tehnika. 2012. no. 4–5. pp. 12–16.

10. Portnov E.M., Chzho Z.E., Tajk A.Ch., Chzho Z.L. Issledovanie teoreticheskikh podhodov k povysheniju dostovernosti tehnicheckoj diagnostiki // Nauchnoe obozrenie. 2015. no. 14. pp. 134–138.