

УДК 629.78.085.064.5.058

**В. С. РЕВА, К. Н. ЗЕМЛЯНОЙ, В. П. ФРОЛОВ***Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля»***ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАЗЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

*В статье приведены показатели качества электроэнергии, которые наиболее важны для электропотребителей: повышенное и пониженное напряжение, высоковольтные импульсы, гармонические искажения, напряжения нестабильная частота, провалы напряжения. Проанализированы возможные нештатные ситуации в системах электроснабжения наземного комплекса (СЭС НК) связанные с отклонением от нормы качества параметров электроэнергии. В соответствии с этим определены показатели качества электроэнергии, которые влияют на циклограмму подготовки к пуску ракеты космического назначения (РКН), контроль которых необходимо осуществлять. Рассмотрены объекты управления отдельными составными частями для оперативного выхода из нештатных ситуаций (НШС). С целью улучшения структур СЭС и повышения качества и надежности СЭС НК с учетом режимов работы, на этапах проектирования системы электроснабжения НК возникает необходимость создания и выделения системы автоматизированного дистанционного управления и контроля (САДУК) в качестве отдельной структуры в составе СЭС НК. Определены основные требования, предъявленные к САДУК, обеспечивающей контроль параметров питания на зажимах электропотребителей технологического оборудования (ТО) посредством контроля осциллограмм напряжения переменного тока, значений напряжения, частоты и коэффициента несинусоидальности напряжения переменного тока. Кроме того, САДУК выполняет регистрацию и отображение параметров питания электропотребителей, контроль работоспособности СЭС в целом и их составных частей с привязкой к системе единого времени. В случае выхода за допустимые пределы показателей качества электроэнергии САДУК позволит предпринять оперативные меры необходимые для парирования нештатных ситуаций, благодаря управлению элементами системы электроснабжения. Проведено информационное обеспечение с построением общепринятой структурной блок-схемой подобных систем, на основе которой реализована трехуровневая структура САДУК. Рассмотрен алгоритм и основные принципы работы САДУК в обычном режиме и режиме выхода за пределы норм показателей качества электроэнергии (ПКЭ). Изложено краткое описание структуры, а также пример алгоритма управления вводами САДУК.*

**Ключевые слова:** качество, электроэнергия, система электроснабжения, контроль, структура, потребитель, принцип работы.

**Введение**

При создании системы электроснабжения (СЭС) перспективных проектируемых наземных комплексов (НК) необходимо учитывать энергоемкость потребителей технологического оборудования (ТО) и технических систем (ТС) задействованных в подготовке РКН, а также увеличение количества потребителей разных номиналов напряжения, в том числе и низковольтного оборудования. Для этого необходимо на раннем этапе проектирования определить состав и характеристики электрооборудования систем, расположенных на наземном комплексе КРК. Так, например, анализ ИД потребителей ТО и ТС показал, что на КРК «Днепр» потребление составляло чуть более 1 МВт, при проектировании КРК «Циклон-4» увеличилось и стало около 4,5 МВт. В настоящее время проектирование современ-

ных перспективных КРК обуславливается мощностью потребителей не менее 6МВт.

До недавнего времени со стороны энергопоставляющих организаций вопросам контроля и обеспечения качества электрической энергии не уделялось достаточного внимания, что при больших суммарных мощностях нередко приводило к нарушению функционирования технологического оборудования, подключенного к электрической сети. Ухудшение качества электрической энергии определяется соотношением между уровнями электромагнитных помех, возникающих из-за отклонения напряжения, частоты и формы синусоидальности кривой напряжения в сети от установленных значений и уровней устойчивости технологического оборудования к электромагнитным помехам [1].

Процессы в энергосистеме достаточно взаимосвязаны. Искажения показателей качества электро-

энергии, распространяемые одними потребителями в СЭС и выход из строя любого компонента системы электроснабжения с другой стороны – становится очень серьезным нарушением работ по подготовке РКН к пуску.

Одновременный автоматизированный мониторинг в разных точках СЭС – это шаг для первого знакомства с проблемой КЭ, выявление тенденций изменения контрольных параметров во времени, обеспечивающих предупредительный прогноз для остальных потребителей электроэнергии.

## 1. Показатели качества электроэнергии

Всего стандартами установлено более одиннадцати показателей качества электроэнергии, однако для СЭС НК наиболее важными являются: повышенное и пониженное напряжение, высоковольтные импульсы, гармонические искажения напряжения нестабильная частота, провалы напряжения. Пониженное качество электроэнергии оказывает негативное влияние, как на работу отдельных потребителей, так и на нормальное функционирование энергосистемы в целом.

При сложной специфике работы электропотребителей на КРК по подготовке и проведения пуска РН возникают различные нештатных ситуаций, связанных с качеством электроэнергии.

При снижении качества электроэнергии в электрических сетях имеют место следующие отрицательные последствия:

- увеличение потерь электроэнергии во всех элементах электрической сети;
- перегрев вращающихся машин, ускоренное старение изоляции, сокращение срока службы или выход из строя электрооборудования;
- рост потребления электроэнергии и необходимой мощности электрооборудования;
- нарушение работы и ложные срабатывания устройств релейной защиты и автоматики;
- помехи в работе чувствительного оборудования (радио и телевизионные системы, измерительные комплексы и т.д.);
- сбои электронных систем управления и вычислительной техники, аварийное отключение оборудования с потерей данных в компьютерах;

На существующих ракетных комплексах в системах электроснабжения присутствуют отдельные составляющие, которые в той или иной степени контролируют показатели качества электроэнергии. Однако комплексный подход по улучшению структур СЭС с учетом режимов работы и анализ существующих СЭС НК показал необходимость создания системы автоматизированного управления и кон-

троля (САДУК).

Вышеизложенные параметры электроэнергии описываются следующими формулами [2].

- **Отклонение напряжения (1):**

$$\delta U(t) = \frac{U(t) - U_n}{U_n} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $U(t)$  – действующее значение напряжения;

$U_n$  – номинальное напряжение.

При этом предельно допустимые значения размаха изменения напряжения  $\delta U_t$  в точках общего присоединения к электрическим сетям в зависимости от частоты повторения изменений напряжения  $F_{\delta U_t}$  или интервала между изменениями напряжения  $\Delta t_{i,i+1}$  равны значениям, определяемым по кривой 1 рисунок 1 [1].

- **Действующее напряжение определяется по формуле (2):**

$$U(t) = \frac{1}{3} (U_{AB(1)} + U_{BC(1)} + U_{AC(1)}), \quad (2)$$

где  $U_{BC(1)}, U_{AC(1)}$  – действующие значения межфазных напряжений основной частоты.

Для сетей до 1 кВ (3):

$$\text{и } \delta U_{\max} = \pm 10\% \delta U_{\max} = \pm 10\%, \quad (3)$$

- **Коэффициент несинусоидальности кривой напряжения (4):**

$$k_{\text{НСU}} = \frac{1}{U_n} \sqrt{\sum_{n=2}^N U_n^2} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где  $U_n$  – действующее значение n-й гармонической составляющей напряжения;

$N$  – порядок последней из учитываемых гармоник.

- **Отклонение частоты (5):**

$$\Delta f = f - f_n, \quad (5)$$

где  $f$  – текущее значение частоты,

$f_n$  – номинальное значение частоты.

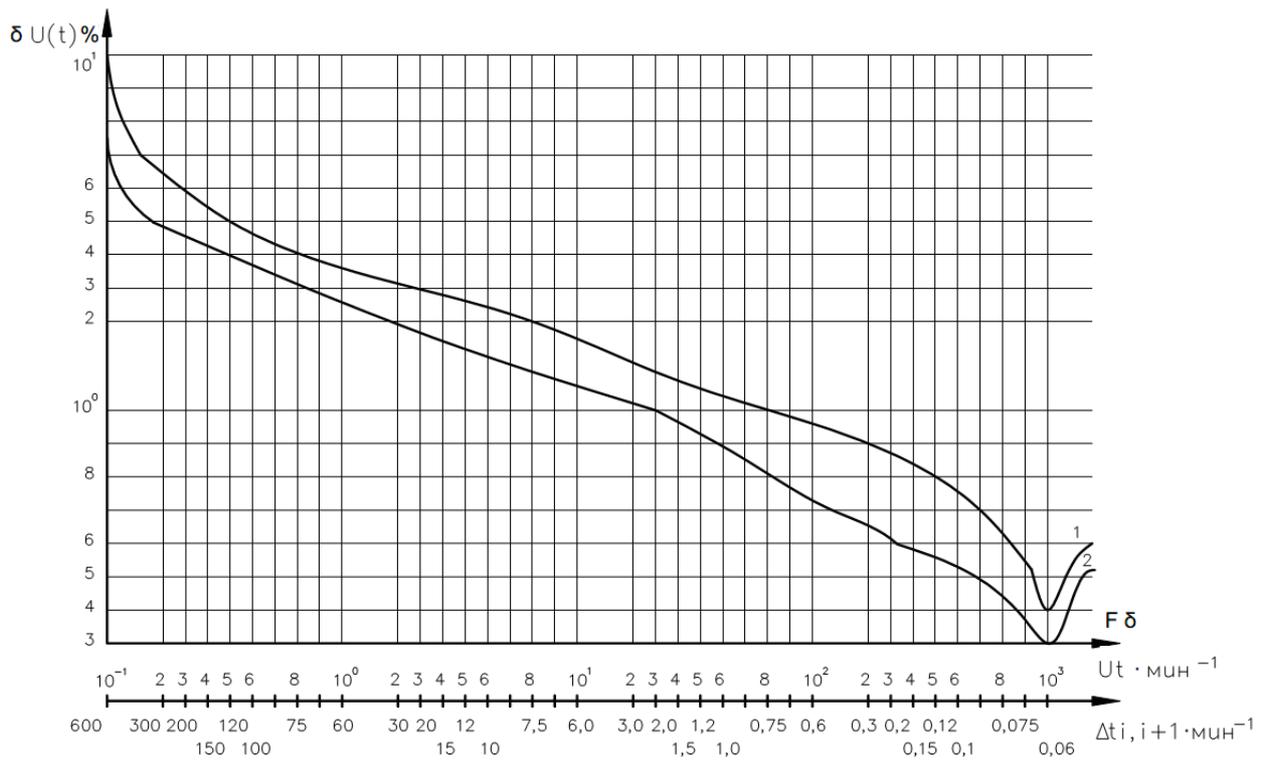


Рис. 1. Допустимые значения размаха изменения напряжения в зависимости от частоты повторения изменений за минуту

## 2. Задачи и требования САДУК

Основной задачей САДУК является обеспечение контроля параметров питания на зажимах электропотребителей технологического оборудования (ТО) посредством контроля осциллограмм напряжения переменного тока, значений напряжения 380/220В и 28,5В, значений частоты и коэффициента несинусоидальности напряжения переменного тока. [3]

А также САДУК должна обеспечивать:

- контроль положения автоматических выключателей вводных и отходящих фидеров и положения секционного выключателя в шкафах СЭС (контроль и регистрация срабатывания противоаварийных защит);
- контроль исправности источников бесперебойного питания (ИБП);
- управление (включение/отключение) вводами №1 и №2, выключателем автоматического ввода резерва (АВР); ИБП, вентиляцией, ДЭА;
- запись и хранение осциллограмм напряжения переменного тока и напряжений 28,5 В на разьемах потребителей за 10 мин до аварии;
- формирование и выдача данных оператору;
- архивирование истории изменения параметров;
- тестирование и самодиагностику состояния составных частей СЭС.

Кроме того, САДУК выполняет регистрацию и отображение параметров питания электропотребителей, контроль работоспособности СЭС в целом и их составных частей с привязкой к системе единого времени.

## 3. Информационное обеспечение и структура САДУК

Информационное обеспечение, связанное с анализом текущего состояния объекта и его управлением, для системы электроснабжения наземного комплекса осуществляется по общепринятой структурной блок-схеме [2], приведенной на рисунке 2.

Считывание информации состояния электропотребителей осуществляется группой датчиков и преобразователей информации. Система датчиков обеспечивает измерение параметров и переменных анализируемого потребителя и преобразует их в цифровую форму. Далее через контроллеры информация передается на систему отображения (АРМ оператора). Этапы получения и предварительной обработки информации могут обеспечиваться также интегрированными системами датчиков – преобразователей. Подобная структурная схема характерна для большинства энергетических промышленных объектов. [4]

Структура САДУК реализована тремя базовыми уровнями (рис. 3):

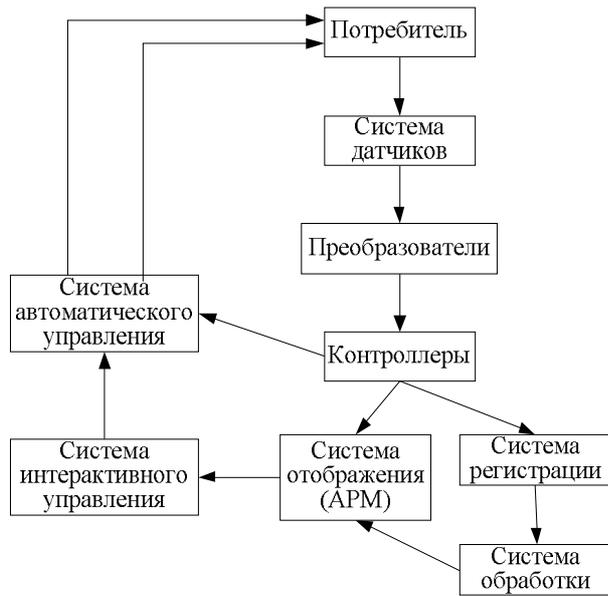


Рис. 2. Общепринятая структурная блок-схема

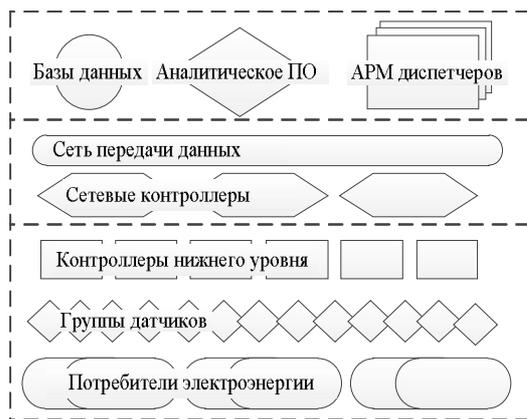


Рис. 3. Трехуровневая структура САДУК

**а) Первый уровень**

Первый уровень (полевой) – обеспечивает прием сигналов от датчиков технических систем и датчиков контроля состояния оборудования. Объем этой информации обеспечивает отображение реальной картины технологического процесса и состояния оборудования;

**б) Второй уровень**

Второй уровень реализовывает выполнение решений по автоматизации технологического процесса технических систем. Уровень реализован на программируемых логических контроллерах (ПЛК), которые обрабатывают сигналы, поступающие от контроллеров локальных устройств, датчиков, осуществляя:

- контроль технологических параметров технических систем;
- контроль состояния оборудования.

Аппаратура второго уровня установлена в составных частях САДУК (щитах и шкафах).

**в) Третий уровень**

Третий иерархический уровень – это уровень диалога оператор – система управления (уровень управления и наблюдения).

На этом уровне операторы имеют доступ к информации, позволяющей осуществлять контроль и управление технологическими процессами технических систем.

Исходя из изложенного была реализована структура (рис. 4), а также определен состав САДУК.

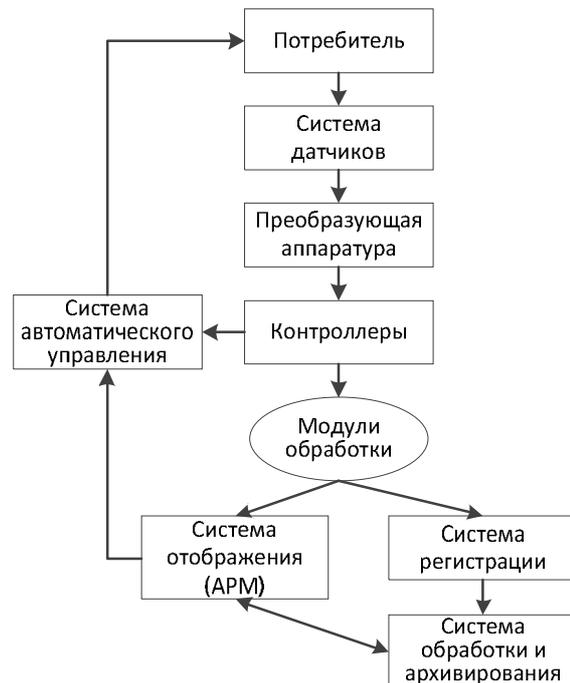


Рис. 4. Структурная схема САДУК

Пример алгоритма управления САДУК вводами системы электроснабжения наземного комплекса представлен на рис. 5.

САДУК состоит устройств, автоматизированных рабочих мест (АРМ) оператора с прикладным и специальным программным обеспечением, комплектов оборудования диспетчерских пунктов с прикладным и специальным программным обеспечением, преобразующая аппаратура (контроллеры), дисплеев отображения информации, комплектов запасных частей, инструмента и принадлежностей (ЗИП).

Управление и обмен данными с САДУК обеспечивается по каналам сети Modbus при помощи устройства сопряжения с шиной Modbus/RTU.

Измерительные входы преобразователей подключены к шинам и вводам в изделиях и выполняют

преобразование напряжения трехфазной сети переменного тока 220/380 V сигналы (4-20) mA постоянного тока, пропорциональные измеряемым фазным напряжениям. Контроллер ввода аналоговых сигналов принимает сигналы постоянного тока (4-20) mA, поступающие от преобразователей и преобразует в цифровую форму для передачи по сети.

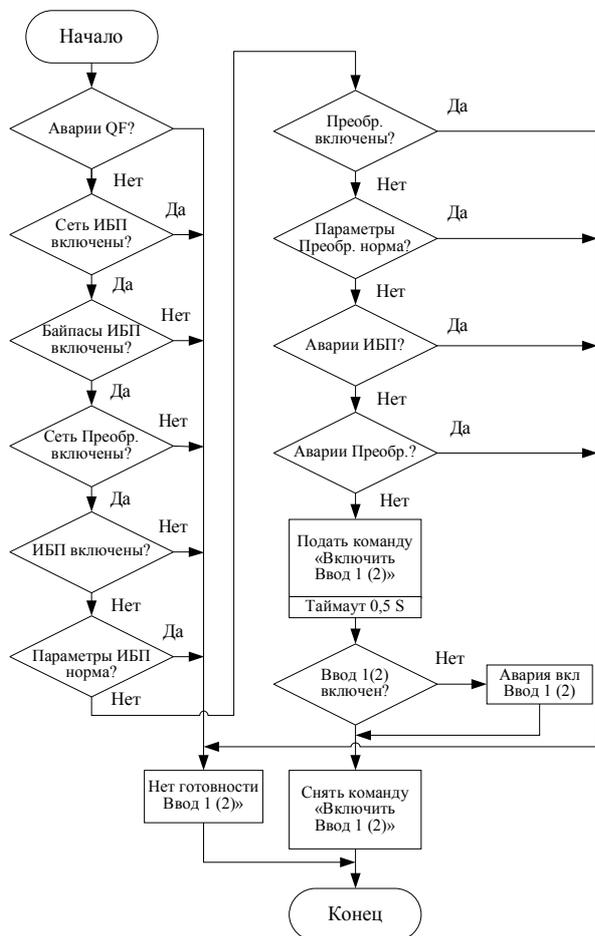


Рис. 5. Алгоритм управления вводами СЭС НК  
Преобр. - преобразователи напряжения

Программное обеспечение (ПО) системы представляет собой совокупность программных средств, обеспечивающих совместно с техническими средствами сбор данных и диспетчерское управление. Например SCADA-система "Vijeo Citect" осуществляет контроль и управление технологическим оборудованием, а также взаимодействие с оперативным и эксплуатационным персоналом СЭС НК.

В системе также реализованы следующие задачи:

- архивирование хода процессов в виде трендов;
- архивирование протоколов послеаварийных ситуаций;
- архивирование протоколов событий;

- обмен данными с ПЛК в реальном времени;
- управление предупредительными и тревожными сообщениями.

## Выводы

Во многих странах базирования, создаваемых КРК, первичное электроснабжение достаточно неустойчиво и не может предоставить требуемое качество электроэнергии.

Создание системы автоматического дистанционного управления и контроля в составе системы электроснабжения наземного комплекса позволит обеспечить непрерывный контроль основных параметров электроэнергии. В случае выхода за допустимые пределы показателей качества электроэнергии САДУК позволит предпринять оперативные меры необходимые для парирования нештатных ситуаций, благодаря управлению элементами системы электроснабжения, а также позволит подтвердить выполнение требований Заказчиков пусковых услуг к электроснабжению.

## Литература

1. ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. [Текст] – Взамен ГОСТ 13109-87. – М. : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации ; М. : Изд-во стандартов., 1997. – 35 с.
2. Иванов, В. С. Режимы потребления и качество энергетических систем электроснабжения промышленных предприятий [Текст] / В. С. Иванов, В. И. Соколов. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 336 с.
3. Обоснование необходимости создания и структура системы контроля качества электроэнергии в составе системы электроснабжения наземного комплекса: учебное пособие [Текст] / В. С. Рева, В. П. Фролов, К. Н. Земляной и др. // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 9 (96). – С. 159-163.
4. Бирюков, Г. П. Основы обеспечения надежности и безопасности стартовых комплексов / Г. П. Бирюков, Ю. Ф. Кукушкин, А. В. Торпачев. – М. : Изд-во МАИ, 2002. – 264 с.

## References

1. GOST 13109-97 *Elektrycheskaya enerhiya. Sovmestymost' tekhnicheskyykh sredstv elektromagnitnaya Normy kachestva elektrycheskoy enerhiyy v sistemakh elektrosnabzheniya obshchego naznacheniya* [State Standard 13109-97 Electric Energy. Compatibility of technical means Electromagnetic Norms of quality of electric energy in power supply systems of

general purpose]. Moscow, Mezhhos. sovet po standartyzatsyy, metrolohiyy y sertyfykatsyy, Moscow, Standartinform Publ., 1997. 35 p.

2. Yvanov, V. S., Sokolov, V. Y. *Rezhimy potreblenyaya y kachestvo enerheticheskyykh system elektrosnabzhenyya promyshlennykh predpriyatyy* [Consumption modes and quality of power supply systems for industrial enterprises]. Moscow, Enerhoatomyzdat Publ., 1987. 336 p.

3. Reva, V. S., Frolov, V. P., Zemlyanoy, K. N., Shevchenko, E. Yu. *Obosnovaniye neobkhodimosti sozdaniya y struktura systemy kontrolya kachestva*

*elektroenerhiy v sostave systemy elektrosnabzhenyya nazemnoho kompleksa: uchebnoe posobyе* [Justification for production and electric power quality control system structure as part of ground complex power supply system]. *Aviacijno-kosmichna tehnika i tehnologia - Aerospace technic and technology*, 2012, no. 9 (96), pp. 159-163.

4. Byryukov, N. P., Kukushkyn, Yu. F., Torpachev, A. V. *Osnovy obespechenyya nadezhnosti y bezopasnosti startovykh kompleksov* [Basics of ensuring the reliability and safety of launching complexes]. Moscow, Yzd-vo MAY, 2002. 264 p.

*Поступила в редакцию 01.06.2018, рассмотрена на редколлегии 25.07.2016*

### ОСОБЛИВОСТІ КОНТРОЛЮ І УПРАВЛІННЯ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НАЗЕМНИХ КОМПЛЕКСІВ

*В. С. Рева, К. М. Земляний, В. П. Фролов*

Наведено показники якості електроенергії, які найбільш важливі для електроспоживачів: підвищена і знижена напруга, високовольтні імпульси, гармонійні спотворення напруги, нестабільна частота, провали напруги. Проаналізовано можливі нештатні ситуації в системах електропостачання наземного комплексу (СЕП НК) пов'язані з відхиленням від норми якості параметрів електроенергії. Відповідно до цього було визначено показники якості електроенергії, контроль яких необхідно здійснювати. Розглянуто об'єкти управління окремими складовими частинами для оперативного виходу з нештатних ситуацій (НШС). З метою поліпшення структур СЕП і підвищення якості та надійності СЕП НК з урахуванням режимів роботи, на етапах проектування системи електропостачання НК виникає необхідність створення та виділення системи автоматизованого дистанційного управління і контролю (САДУК) в якості окремої структури в складі СЕП НК. Визначено основні вимоги, пред'явлені до САДУК, яка забезпечує контроль параметрів живлення на затискачах електроспоживачів технологічного обладнання (ТО) за допомогою контролю осцилограм напруги змінного струму, значень напруги, частоти і коефіцієнта несинусоїдальності напруги змінного струму. Крім того, САДУК виконує реєстрацію і відображення параметрів живлення електроспоживачів, контроль працездатності СЕП в цілому та її складових частин з прив'язкою до системи єдиного часу. У разі виходу за допустимі межі показників якості електроенергії САДУК дозволить зробити оперативні заходи необхідні для парировання нештатних ситуацій, завдяки управлінню елементами системи електропостачання. Проведено інформаційне забезпечення з побудовою загальноприйнятої структурної блок-схеми подібних систем, на основі якої реалізована тривірнева структура САДУК. Розглянуто алгоритм і основні принципи роботи САДУК в звичайному режимі і режимі виходу за межі норм показників якості електроенергії (ПЯЕ). Викладено короткий опис структури, а також приклад алгоритму управління повідомленнями САДУК.

**Ключові слова:** якість, електроенергія, система електропостачання, контроль, структура, споживач, принцип роботи.

### FEATURES OF CONTROL AND OPERATION IN POWER SUPPLY SYSTEMS OF GROUND COMPLEXES

*V. S. Reva, K. N. Zemlyany, V. P. Frolov*

The article shows the power quality indicators that are most important for electric consumers: high and low voltage, high-voltage pulses, harmonic distortion, unstable voltage, voltage dips. Possible contingencies in power supply systems of the ground complex (PSS GK) connected with a deviation from the norm of the quality of electric power parameters are analyzed. In accordance with this, the power quality indicators that affect the cyclogram of the preparation for the launch of a space rocket (SR), which need to be monitored, are determined. The objects of management of separate components for operational withdrawal from an emergency situation (ES) are considered. In order to improve the PSS structures and improve the quality and reliability of PSS GK, taking into account the operating modes, at the design stages of the power supply system of GK, it is necessary to create and allocate an automated remote control and monitoring system (ARKMS) as a separate structure within PSS NK. The main requirements for the ARKMS providing control of the power parameters at the terminals of the electrical consumers of the process equipment (PE) are determined by monitoring the oscillograms of the AC voltage, the voltage, frequency

and the non-sinusoidal voltage of the alternating current voltage. In addition, ARKMS performs registration and display of power supply parameters of electric consumers, monitoring of the operation of PSS as a whole and their components with reference to a single-time system. In case of exceeding the permissible limits of the power quality indicators, ARKMS will allow to take operational measures necessary for parrying contingencies, thanks to the operation of the elements of the power supply system. Information support was provided with the construction of the generally accepted structural block diagram of such systems, on the basis of which the three-level structure of ARKMS is implemented. The algorithm and basic principles of the ARKMS operation in the normal mode and the mode of exceeding the norms of the power quality indicators (PQI) are considered. A brief description of the structure is given, as well as an example of an algorithm for input control of ARKMS.

**Keywords:** quality, electric power, power supply system, control, structure, consumer, principle of operation.

**Рева Вадим Сергеевич** – начальник группы, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. Янгеля», Днепр, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.

**Земляной Константин Николаевич** – начальник отдела, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. Янгеля», Днепр, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.

**Фролов Виктор Петрович** – канд. техн. наук, заместитель начальника комплекса, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. Янгеля», Днепр, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.

**Reva Vadym Sergiovich** – Head of the group, “Yuzhnoye” SDO, Dnepr, Ukraine, e-mail: info@yuzhnoye.com.

**Zemlyany Kostyantyn Nikolaiovich** – Head of the department, “Yuzhnoye” SDO, Dnepr, Ukraine, e-mail: info@yuzhnoye.com.

**Frolov Victor Petrovich** – Candidate of Technical Science, deputy head of the complex, “Yuzhnoye” SDO, Dnepr, Ukraine, e-mail: info@yuzhnoye.com.