



**Авторы:**  
 к.т.н. Наумов В.А.,  
 к.т.н. Матисон В.А.,  
 Прокопьев В.В.,  
 Сермеев М.Ю.,  
 ООО НПП «ЭКРА»,  
 г. Чебоксары, Россия.

# АВТОМАТИЗАЦИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

**Аннотация:** описаны особенности построения автоматизированной системы управления технологическими процессами солнечных электростанций на базе специализированного программно-технического комплекса по автоматизации технологических процессов электротехнической части объектов генерации и распределения электроэнергии. Рассмотрена реализация автоматизированной системы диспетчерского управления на примере Ахтубинской солнечной электростанции.

**Ключевые слова:** солнечная электростанция, солнечные панели, коммутационный шкаф постоянного тока, блочно-модульные инверторные установки, инверторы, система автоматического управления инверторной станции, автоматизированная система диспетчерского управления, система обмена технологической информацией с автоматизированной системой Системного оператора, автоматизированная система управления технологическими процессами.



**Наумов Владимир Александрович**  
 В 2001 г. окончил электроэнергетический факультет ЧГУ им. И.Н. Ульянова. В 2002 г. защитил магистерскую диссертацию. В 2005 г. защитил во ВНИИЭ кандидатскую диссертацию «Анализ и совершенствование продольных дифференциальных защит генераторов и блоков генератор-трансформатор». Зам. генерального директора - технический директор ООО НПП «ЭКРА».

## Введение

Альтернативная энергетика на основе использования возобновляемых энергоресурсов начинает играть все большую и большую роль ввиду роста внимания к экологическим проблемам на фоне постоянно расширяющейся сферы потребления электроэнергии [1]. В рамках этого тренда в России, как и во всем мире, растет количество электростанций, использующих энергию солнца и ветра [2]. Обеспечение работы этих электростанций в составе энергосистемы, в том числе их управляемости, со-

ответствия качества вырабатываемой и поставляемой в сеть электроэнергии требованиям ГОСТ 32144-2013 [3], а также для обслуживания в соответствии с отраслевыми требованиями к генерирующим объектам, невозможно без системы автоматизации, управления и мониторинга всего комплекса станционного оборудования.

Источником энергии на солнечных электростанциях (СЭС) являются солнечные фотоэлектрические панели, вырабатывающие энергию на постоянном напряжении. Поэтому все СЭС имеют статические полупро-

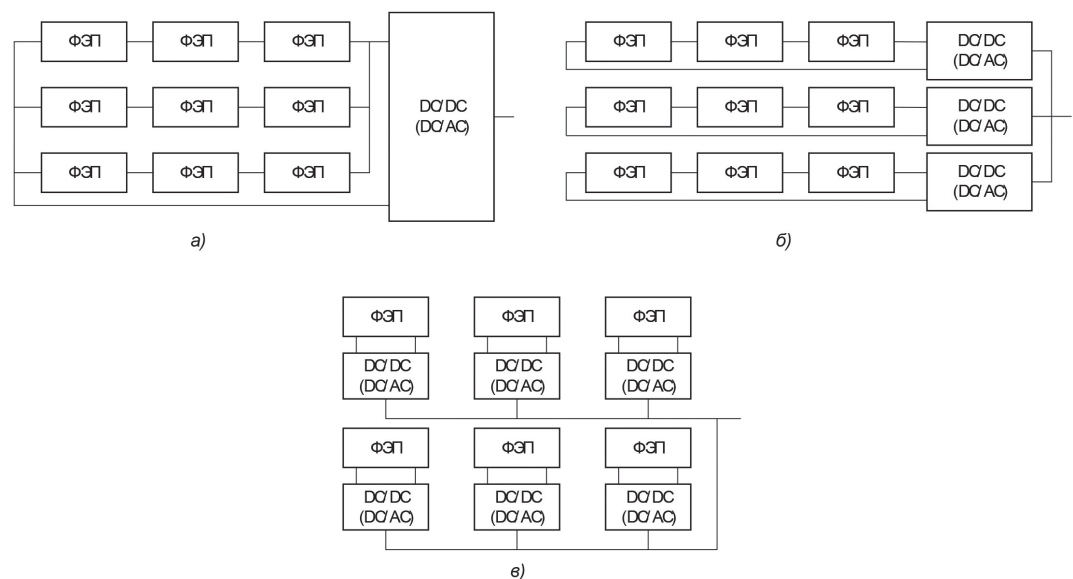


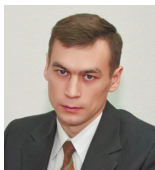
Рис. 1. Основные топологии построения СЭС



**Матисон**

**Владимир Арнольдович**

В 1982 г. окончил факультет электрификации и автоматизации промышленности ЧГУ им. И. Н. Ульянова. В 1991 г. во ВНИИ Электропривод (г. Москва) защитил кандидатскую диссертацию на тему «Динамические процессы в транзисторных электроприводах с релейными регуляторами тока». Зам. технического директора ООО НПП «ЭКРА» по цифровизации электроэнергетики.



**Прокопьев**

**Вадим Валентинович**

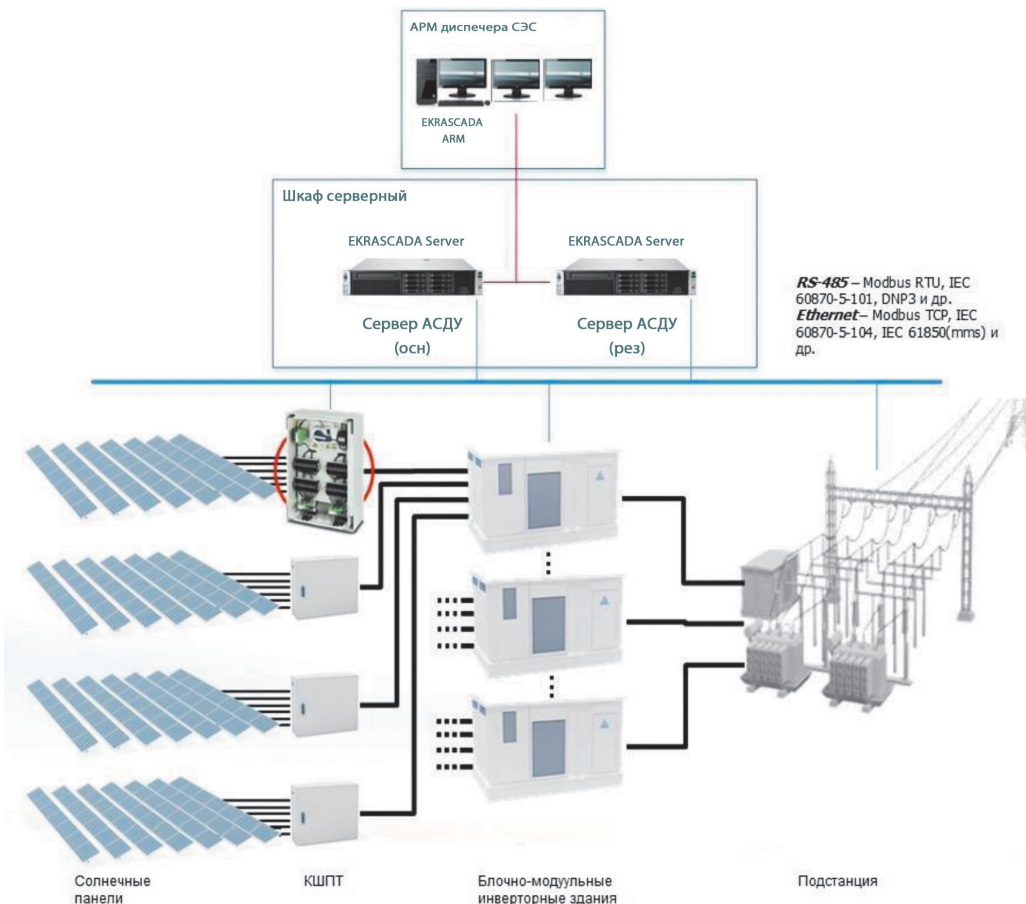
Дата рождения: 29.04.1981 г. В 2004 году окончил ЧГУ им. И.Н. Ульянова, магистр техники технологий. Руководитель сектора инжиниринга АСУ ТП ООО НПП «ЭКРА».



**Сермеев**

**Михаил Юрьевич**

В 2011 г. окончил факультет управления и информатики в технических системах МГУ. Ведущий инженер-испытатель направления АСУ ТП департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА».



**Рис. 2. Структурная схема СЭС**

водниковые преобразователи постоянного тока в переменный – инверторы для передачи энергии в энергосистему.

СЭС любой мощности строятся на основе трех топологий:

- централизованная или центральная (рис. 1, а);
- секционная или стринговая (рис. 1, б);
- модульная (рис. 1, в).

Ахтубинская СЭС, расположенная в селе Пироговка Ахтубинского района Астраханской области и имеющая установленную мощность 60 МВт, выполнена по секционной топологии с объединением нескольких таких секций на трансформаторах в блочно-модульные инверторные установки (БМИУ).

Секции (стринги), в количестве 16 штук, на этой СЭС объединяются в коммутационных шкафах постоянного тока (КШПТ), в количестве 320 шт. Выходные шины этих шкафов подключены к инверторам с номи-

нальной мощностью 850 кВА, в количестве 64 штук, расположенным в блочно-модульных инверторных зданиях, где напряжение постоянного тока преобразуется в напряжение переменного тока 0,4 кВ и затем повышается до 10 кВ силовым трансформатором, находящимся в этом же здании. Далее напряжение 10 кВ подается через КРУ-10 кВ на два повышающих трансформатора 10/110 кВ мощностью 32 МВт каждый, расположенных в ОРУ 110 кВ. Передача электроэнергии в единую энергосистему производится по отходящей линии 110 кВ (рис. 2).

Автоматизированная система диспетчерского управления (АСДУ) СЭС является инструментом оперативного управления станцией. Задачи АСДУ СЭС заключаются в контроле за основными и вспомогательными системами, формировании управляющих воздействий посредством группового управления инверторами, автоматизиро-



ванном, а по ряду функций и автоматическим, взаимодействием с Системным оператором – осуществляется прием команд управления режимом и их исполнения, а также передачи информации о работе СЭС. Наряду с этим АСДУ СЭС обеспечивает безопасность работы через реализацию оперативных блокировок коммутационных аппаратов, отслеживание и предотвращение развития нештатных ситуаций и аварийных событий, а также учет электроэнергии в соответствии с действующими нормативами.

АСДУ Ахтубинской СЭС состоит из двух подсистем:

1. Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП).
2. Система обмена технологической информацией с автоматизированной системой Системного оператора (СОТИ АССО).

Такая структура АСДУ типична для подавляющего большинства СЭС.

АСУ ТП станции, являясь основной подсистемой АСДУ СЭС, объединяет следующие подсистемы:

- Систему автоматического управления инверторной станцией (САУ ИС).
- АСУ ТП подстанции.

САУ ИС предназначена для сбора технологических данных выработки энергии, управления инверторами.

На рис. 3. представлена мнемосхема инверторной станции.

В задачи САУ ИС входит сбор телесигналов:

- от коммутационного шкафа постоянного тока (КШПТ);
- от трансформатора;
- о положениях коммутационных аппаратов (КА) ЗРУ-10 кВ;
- о микроклимате;
- с метеостанции;
- от инверторов для управления инверторами посредством распределения уставки по инверторам.

Приведенная на рис. 3 мнемосхема позволяет оценить состояние инверторной системы для выполнения задач оперативно-диспетчерского управления.

САУ ИС реализована с применением программируемого контроллера модульной архитектуры с использованием подключаемых коммутационных модулей и модулей ввода/вывода, и устанавливается в БМИУ. Особенностью СЭС является большое количество однотипных устройств (более 300 КШПТ). Поэтому при реализации АСУ ТП Ахтубинской СЭС широко использовались типовые конфигурации устройств, что позволило легко тиражировать конфигурации САУ ИС простым указанием оборудования.



Рис. 3. Мнемосхема инверторной станции



АСУ ТП подстанции – автоматизированная система управления подстанцией для выдачи мощности, осуществляющая:

- сбор телеинформации с коммутационным аппаратами (КА) и выполнение управления КА;
- сбор информации от смежных подсистем (РЗА, РАС, ЦС, ПА, ИСН, ШОТ);
- сбор осциллограмм с терминалов защит;
- сбор информации о состоянии инженерных систем и сигналов с ограничителей перенапряжений (ОПС) и системы контроля и управления доступом (СКУД).

Сигналы со всех подсистем интегрируются в SCADA-систему. На Ахтубинской СЭС было использовано программное обеспечение EKRASCADA [5], имеющее серверную и клиентскую структуру с реализацией необходимого функционала для сбора и отражения информации. Это позволяет оперативному персоналу просматривать на экранах рабочих станций информацию в виде динамических мнемознаков процесса (мнемокадры) и текстовой информации на любом языке, поддерживаемых операционной системой АРМ ОП с развернутым программным обеспечением. Информация на мнемокадрах АРМ ОП может быть, в зависимости от конфигурации системы, представлена в виде графических видеокадров, таблиц, графиков, меню и т.д.

Для удобства работы на АРМ ОП пользователю предоставляется возможность выбора мнемосхемы или ее фрагмента. На рис. 4 представлена главная схема Ахтубинской СЭС.

SCADA-система для АСДУ СЭС, в целях обеспечения совместимости с различным оборудованием СЭС, должна поддерживать большое количество протоколов обмена данными с устройствами. Также, для исключения ошибок при конфигурировании проекта, системам верхнего уровня очень важно иметь в этой SCADA-системе механизмы шаблонов, оптимизирующие работу с уже отмеченным выше большим количеством однотипных устройств. Именно такие механизмы и были использованы на Ахтубинской СЭС.

СОТИ ACCO занимает особое место, так как если все описанные выше подсистемы функционируют строго в пределах СЭС и взаимодействуют только с оборудованием электростанции, то эта подсистема взаимодействует с внешней системой верхнего уровня, функционирующей в ЕЭС – Автоматизированной системой АО «СО ЕЭС».

СОТИ ACCO построена на базе резервируемых программируемых контроллеров и решает задачи измерения и сбора оперативной технологической информации о функционировании основного и вспомо-

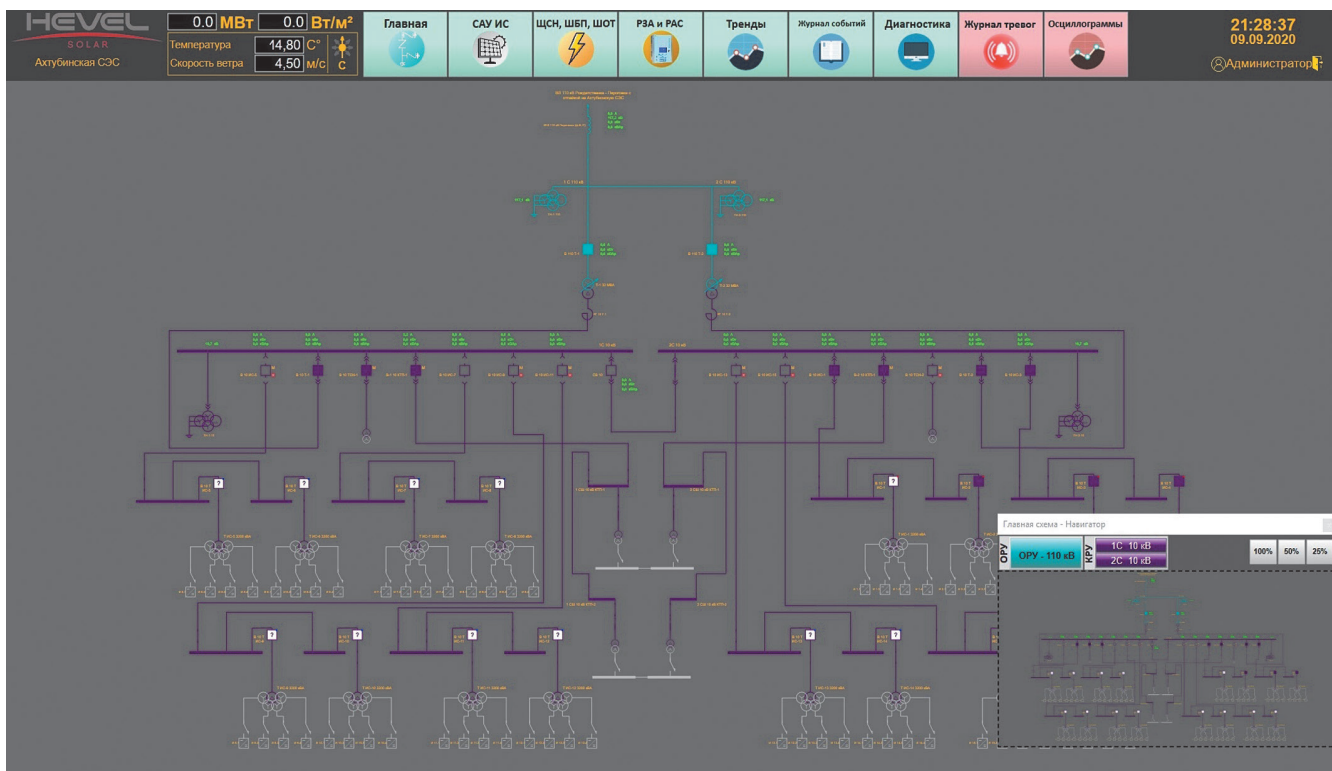


Рис. 4. Главная схема Ахтубинской СЭС



Рис. 5. Мнемосхема нормального режима регулирования

гательного электрического оборудования СЭС и передачи этой информации в диспетчерские пункты филиалов АО «СО ЕЭС».

Помимо задачи передачи данных АО «СО ЕЭС», в подсистеме СОТИ АССО были реализованы следующие алгоритмы:

- нормальный режим регулирования, исходя из диспетчерской уставки требуемой максимальной мощности солнечной станции;
- участие генерирующего оборудования в общем первичном регулировании частоты.

На рис. 5 представлена мнемосхема нормального режима регулирования, исходя из диспетчерской уставки. На графике видно, что до восхода солнца СЭС не вырабатывала активную мощность. В течение дня с изменением солнечной активности изменяется и генерируемая активная мощность станции. При этом на графике четко видны провалы генерации, связанные с затемнением солнечных панелей. Значение генерируемой мощности имеет знак минус, поскольку станция отдает электроэнергию, а значение уставки имеет знак плюс, так как РДУ принимает электроэнергию и присылает на СЭС значение уставки, как это принято в диспетчерских пунктах. На графике установлена линейка, позволяющая увидеть значения кривых в определенном

момент времени. В 6 часов 48 минут суммарная активная мощность составляла 1,4 МВт при диспетчерской уставке 45 МВт. В 12 часов дня, в пике солнечной активности, генерируемая мощность составляла порядка 39 МВт, при этом в тот же момент времени уставка по активной мощности СЭС составляла 45 МВт. Тем самым значение генерируемой мощности станции не превышает диспетчерскую уставку требуемой максимальной мощности солнечной станции. Алгоритм, реализованный в подсистеме СОТИ АССО, отслеживает значение генерируемой мощности станции и распределяет диспетчерскую уставку по контроллерам САУ ИС, не допуская генерации мощности больше, чем диспетчерская уставка.

Следует отметить еще одну особенность СЭС, заключающуюся в участии генерирующего оборудования в общем первичном регулировании частоты. Согласно Приказа Министерства энергетики РФ [6] при увеличении частоты за верхнюю границу «мертвой полосы» первичного регулирования, не более чем через 10 секунд должно обеспечиваться снижение активной мощности генерирующего оборудования ВЭС и СЭС на величину требуемой первичной мощности. Иными словами, алгоритм общего первичного регулирования частоты (ОПРЧ) в контроллерах СОТИ АССО обрабатыва-



ет только при повышении частоты, понижая генерируемую мощность.

При реализации АСДУ на Ахтубинской СЭС не потребовалось разрабатывать специальное оборудование, а использовалось серийно выпускаемая продукция НПП «ЭКРА» [6]:

- ПТК EVICON и шкафы АСУ ТП типа ШНЭ 2080, ШНЭ 8021 и ШНЭ 2082;
- шкафы ПА типа ШЭЭ 224;
- шкафы РАС типа ШЭЭ 233,

что позволило оптимизировать стоимостные показатели проекта, исключив дополнительную составляющую цены, обусловленную разработкой уникального оборудования.

Указанное выше оборудование, а также устройства РЗА, ЦС, ШОТ, ШСН были интегрированы в состав единого программно-технического комплекса, позволяющего качественно и эффективно контролировать и управлять всем электротехническим оборудованием СЭС.

В ходе развертывания системы автоматизации на Ахтубинской СЭС была выполнена интеграция технологических и электрических частей систем автоматизации в АСДУ СЭС, реализованы алгоритмы управления генерирующим оборудованием для качественного и надежного обеспечения бесперебойной работы станции, что подтверждается ее текущей эксплуатацией.

### Выводы

1. Внедренные при реализации АСДУ Ахтубинской СЭС технические решения носят универсальный харак-

тер, а потому могут достаточно просто тиражироваться при проектировании и строительстве других аналогичных объектов.

2. Технические решения, реализованные в SCADA-системе АСДУ Ахтубинской СЭС, облегчая масштабируемость, учитывают особенности конкретных СЭС, что снижает вероятность ошибок при настройке, сокращает время наладки и ввода в эксплуатацию при сохранении высокой надежности и качества работы АСДУ.

### Литература:

1. IRENA (2020), Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050 (Edition: 2020), International Renewable Energy Agency <https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020> (дата обращения 24.08.2020).
2. IRENA (2020), Renewable Energy Statistics 2020 The International Renewable Energy Agency <https://www.irena.org/publications/2020/Jul/Renewable-energy-statistics-2020> (дата обращения 24.08.2020).
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 июля 2013 г. №400-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 32144 — 2013 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации: введен впервые: с 1 июля 2014 г.
4. Дякин С.В., Ниткин Д.А., Вольский С.И. Способы построения солнечных установок // НРЭ. – 2016. – №8. – С. 39 - 47.
5. Техническая информация на EKRASCADA. <https://soft.ekra.ru/ekrascada/ru/downloads/documents/> (дата обращения 17.09.2020).
6. Приказ Министерства энергетики РФ от 9 января 2019 г. №2 «Об утверждении требований к участию генерирующего оборудования в общем первичном регулировании частоты и внесении изменений в Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, утвержденные приказом Минэнерго России от 19 июня 2003 г., № 229».
7. ООО НПП «ЭКРА». Продукция <https://ekra.ru/product/> (дата обращения 10.09.2020).