

От телефона до автоматизированных систем: развитие инструментов диспетчерского управления



В июне исполняется 15 лет Системному оператору Единой энергетической системы. В честь этого события мы публикуем исторический обзор, демонстрирующий, какой огромный скачок совершили технологии диспетчерского управления в отечественной электроэнергетике, и насколько важным для этого процесса были последние полтора десятилетия. Это время ознаменовалось полной перестройкой отрасли, кардинальным изменением хозяйственных отношений, запуском рынка электроэнергии и мощности. С другой стороны, к интенсивному развитию средств диспетчерского управления подталкивает и само бурное развитие информационных технологий и телекоммуникаций.

В РУЧНОМ РЕЖИМЕ (20-Е ГОДЫ XX ВЕКА)

Первые диспетчерские центры энергосистем, появившиеся в начале XX века в разных странах мира, были оснащены технически крайне примитивно: лист ватмана с вычерченной схемой электрической сети, на котором диспетчер цветными карандашами отмечал изменение состояния оборудования и линий электропередачи, частотомер, телефонный аппарат и конторская книга в качестве оперативного диспетчерского журнала.

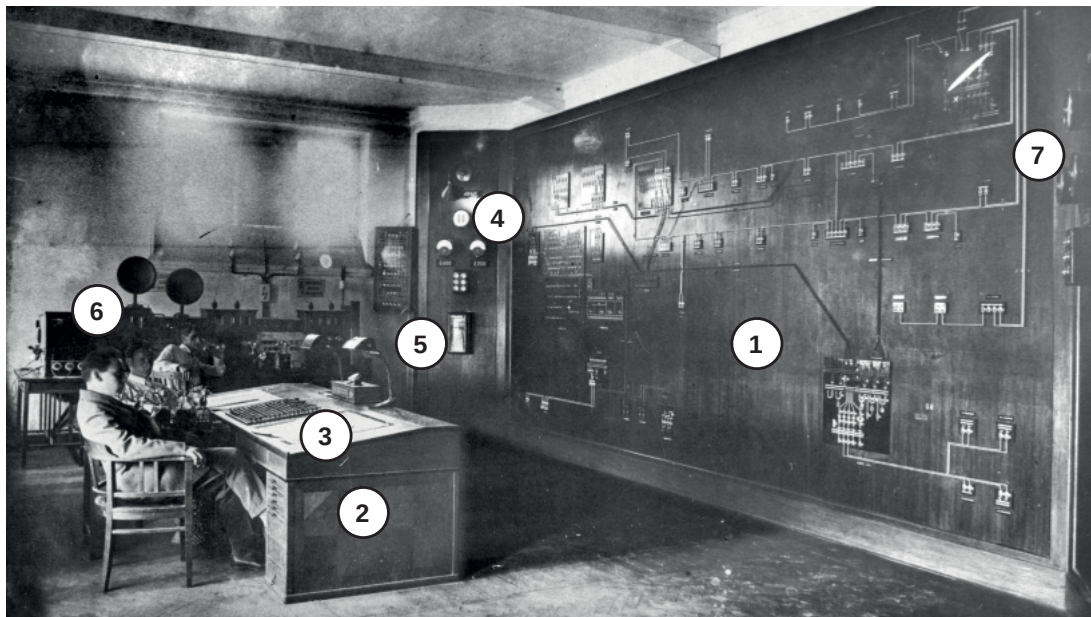
Диспетчерские щиты в образованных в 1926 году в нашей стране первых диспетчерских центрах энергосистем Мосэнерго и Ленэнерго были изготовлены из больших листов фанеры, на которых крепилась мнемосхема (графическая модель) энергосистемы.

Электрические схемы основных энергообъектов — электростанций и узловых подстанций — выполнялись в виде накладных планшетов, на которых системы шин были сделаны в виде мед-

ных полосок, а выключатели — в виде прямоугольников с двумя окошками, в которых зажигались лампочки соответствующего цвета или открывались/закрывались цветные колпачки. В большинстве энергосистем России зеленым цветом обозначался включенный выключатель, красным — отключенный.

Линии электропередачи были выполнены в виде латунных прутков, выкрашенных в цвет, соответствующий классу напряжения. Конструкция деталей схемы позволяла прикреплять к ним значки, обозначающие ремонт, отключение, допуск бригады и т. п.

Связь диспетчерского пункта с энергообъектами осуществлял дежурный связист, который соединял диспетчера с требуемым абонентом через ручной шнуровой коммутатор. Диспетчер по телефону получал информацию о состоянии оборудования, вручную переводил ключи положения выключателей, расположенные



Диспетчерский центр Мосэнерго, 1926 год.

- 1 — фанерный диспетчерский щит,
- 2 — диспетчерский пульт,
- 3 — панель ключей положения выключателей,
- 4 — частотомер,
- 5 — самописец,
- 6 — телефонный коммутатор,
- 7 — медный прут, изображающий ЛЭП

на специальной стойке, и на щите загорался соответствующий сигнал.

Если диспетчерский щит энергосистемы размещался в непосредственной близости от энергообъекта (как, например, Мосэнерго — рядом с ГЭС-1, Днепрэнерго — в здании Днепрогэс, Нижегородской энергосистемы — в здании НИГРЭС), то кроме вибрационного частотомера, позволяющего отслеживать частоту в сети, дополнительно устанавливались приборы, отображающие электрические параметры энергообъекта.

НАЧАЛО АВТОМАТИЗАЦИИ (30–50-Е ГОДЫ XX ВЕКА)

В 30-х годах началось внедрение устройств телепередачи сигналов и измерений по высокочастотным каналам, образованным по линиям электропередачи. Вначале эти устройства были импортными, и их было крайне мало.

По мере освоения отечественной промышленностью выпуска аналоговой аппаратуры, ручная сигнализация положения выключателей заменяется на автоматическую, а на диспетчерском пункте появляются так называемые приборы индивидуального отображения, которые размещались на диспетчерском пульте непосредственно перед каждым диспетчером и показывали нагрузку электростанций, перетоки активной мощности по линиям электропередачи, напряжения на шинах подстанций и электростанций.

Диспетчерские центры оборудуются самописцами — регистрационными приборами, которые вели запись на бумажную ленту таких важных параметров, как частота, напряжение на шинах электростанций и т.п. Для обеспечения работоспособности самописцев в аварийных ситуациях предусматривается резервирова-

ние их питания от аккумуляторной батареи.

Для записи диспетчерских переговоров устанавливаются магнитофоны, где в качестве носителя звука использовалась стальная проволока.

Суточная ведомость энергосистемы с данными почасовых нагрузок оборудования электростанций, перетоков по линиям электропередачи, загрузок трансформаторов, уровней напряжений в основных узлах энергосистемы формировалась вручную путем почасового опроса по телефону оперативного персонала энергообъектов энергосистемы. Необходимым вычислительным инструментом для диспетчера были счеты с костяшками.

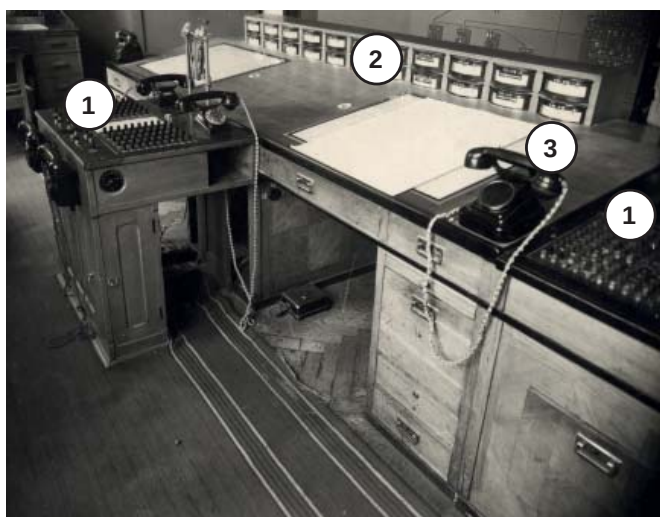
В 40–50-е годы диспетчерские щиты внешне изменяются мало, но за счет активного внедрения устройств телепередачи сигналов и измерений значительно увеличивается количество приборов индивидуального отображения параметров энергосистемы и автоматической сигнализации положения выключателей. Улучшается положение с информированностью диспетчера о текущем режиме энергосистемы.

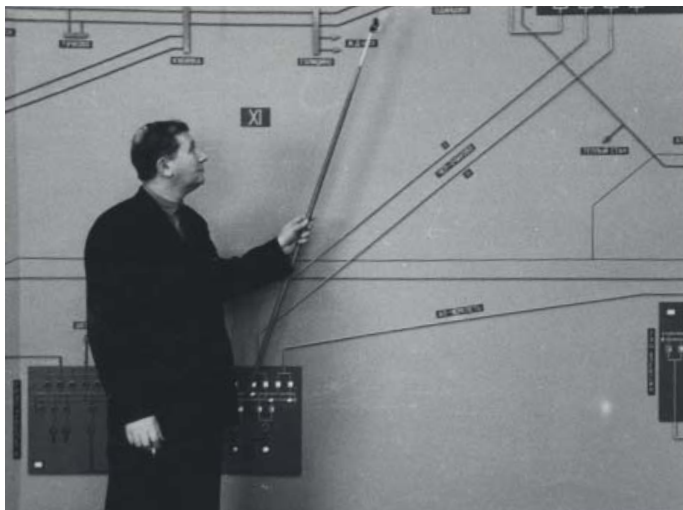
Совершенствуется связь. Рабочее место диспетчера оборудуется индивидуальным коммутатором, обеспечивающим подключение до 40 прямых каналов связи с энергообъектами.

Совершенствуются звукозаписывающие устройства, магнитная лента вытеснила стальную прово-

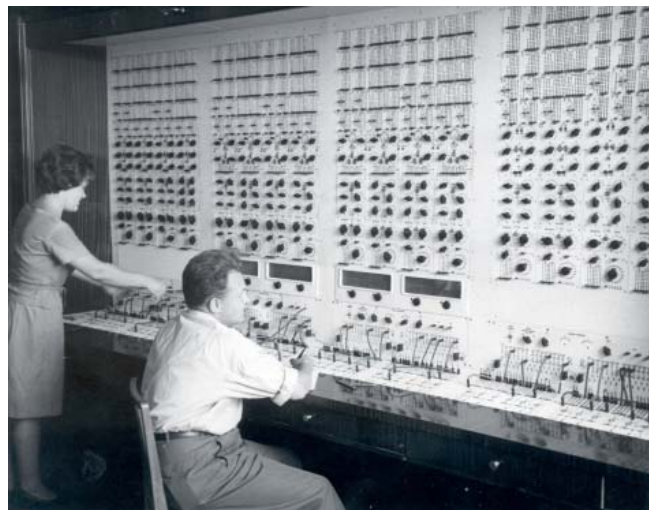
Рабочее место диспетчера Мосэнерго, 1930-е годы.

- 1 — панель ключей положения выключателей,
- 2 — приборы индивидуального отображения,
- 3 — телефон





Диспетчерский центр Мосэнерго, 1960-е годы.
Размещение сигнальных значков на щите



Универсальная высокочастотная модель переменного тока для расчета электрических режимов энергосистемы. ОДУ Средней Волги, 1962 год

локу, отечественная промышленность наладила выпуск магнитофонов, и их использование для записи оперативных переговоров становится обязательной процедурой рабочего процесса.

Растут энергосистемы, создаются первые объединенные электроэнергетические системы (ОЭС) и диспетчерские центры их управления — объединенные диспетчерские управления (ОДУ). Увеличиваются объемы поступающей информации, необходимой для выполнения задач по обеспечению надежного и экономичного режима энергосистем. Однако компьютеров пока нет. Поэтому суточные ведомости по-прежнему формируются вручную, так же вручную, с использованием телефона, обрабатываются заявки на вывод в ремонт

оборудования, линий электропередачи, устройств релейной защиты и автоматики (РЗА), но наряду с этим постепенно начинается использование телетайпов для обмена информацией между диспетчерскими центрами и энергообъектами.

Диспетчер оптимизирует режимы работы тепловых электростанций, используя подготовленные номограммы (чертежи для вычислений нормативных характеристик). При расчетах токов короткого замыкания для выбора параметров настройки (уставок) устройств РЗА начали широко использовать вычислительные столы постоянного тока, а для расчета устойчивости энергосистемы и потокораспределения — щиты переменного тока.

ЭРА ПЕРВЫХ ЭВМ (60–70-Е ГОДЫ XX ВЕКА)

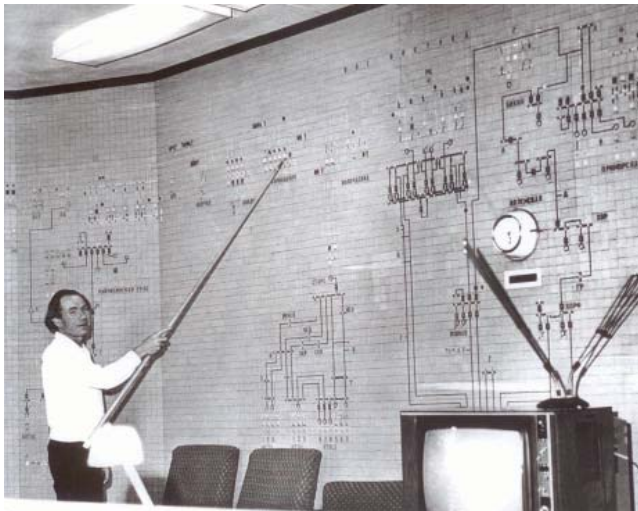
В 60-х годах в диспетчерских центрах появляются мозаичные щиты производства Ленинградского завода «Электропульт». Они более удобны в эксплуатации, чем мнемощиты с накладными планшетами: если раньше при развитии энергообъекта приходилось переделывать целый планшет, то теперь достаточно заменить несколько типовых мозаичных модулей. Конструкция элементов мозаики позволяет диспетчеру прикреплять к ним сигнальные значки так же, как это делалось на прежних щитах.

На диспетчерских пунктах ОДУ появляются первые централизованные аналоговые системы регулирования частоты и перетоков мощности.

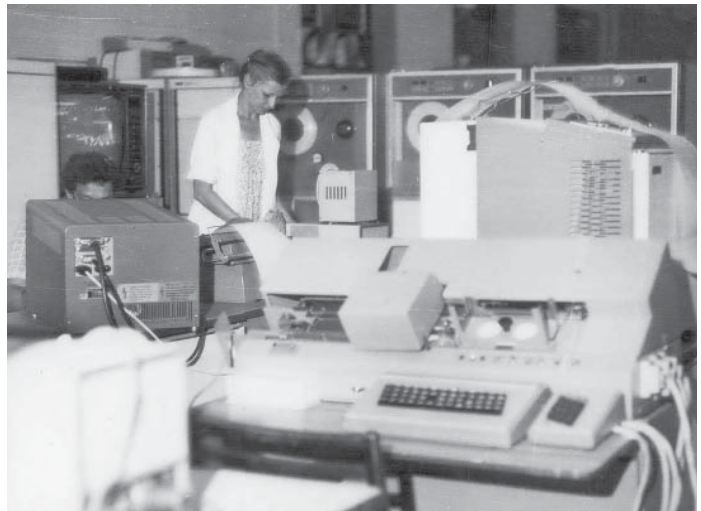


Диспетчерский щит ОДУ ЕЭС с накладными планшетами, 1960-е годы.

- 1 — телефонный коммутатор,
- 2 — приборы индивидуального отображения,
- 3 — частотомер,
- 4 — самописец,
- 5 — накладной планшет



Размещение сигнальных значков на мозаичном щите.
ОДУ Востока, 1970-е годы



ЭВМ БЭСМ-4. ОДУ Востока, 1970-е годы

В конце 60-х начинается внедрение вычислительной техники — электронно-вычислительных машин БЭСМ-6, «Урал», М-220, которые позволяют производить расчеты суточных диспетчерских графиков с оптимизацией загрузки электростанций, токов короткого замыкания и многие другие расчеты.

В начале 70-х годов на базе первых ЭВМ начал формироваться оперативно-информационный комплекс (ОИК), остающийся по сей день основным вычислительным комплексом оперативно-диспетчерского управления.

В середине 70-х на базе ЭВМ серии ЕС были также разработаны и внедрены одноуровневые автоматизированные системы диспетчерского управления (АСДУ), которые вывели технологию расчета и ведения режимов на качественно новую ступень. Информация из АСДУ отображается и на щите, и на рабочих местах диспетчеров.

На щитах появляются многочисленные приборы общего пользования и информационные табло, что позволяет значительно увеличить объем информации о контролируемых диспетчером параметрах энергосистемы.

Рабочие места диспетчеров оборудуют мониторами, роль которых на первых порах играют обычные телевизоры, и первыми дисплеями «Видеотон». Благодаря внедрению ЭВМ автоматизируется составление суточной диспетчерской ведомости, появляется возможность архивирования параметров электрических режимов.

ПЕРЕХОД «В ЦИФРУ» (80–90-Е ГОДЫ XX ВЕКА, 2000-Е ГОДЫ)

В этот период начинается создание многоуровневой системы АСДУ, позволяющей организовать обмен информацией о параметрах электрического режима энергосистем, начиная от энергообъекта и до самой верхней ступени диспетчерского управления — Центрального диспетчерского управления в Москве (ЦДУ). В распоряжении диспетчерского персонала и работников технологических служб появляются необходимые для планирования и ведения режима данные: прогнозы потребления, запасы и поставки топлива, прогнозы погоды, обеспеченность гидроэнергоресурсами, балансы энергосистем и многое другое. Исчезает профессия сборщика ин-

формации, уходят в прошлое самописцы, все данные поступают, обрабатываются и архивируются автоматически.

В эти годы также создается автоматизированная система подачи и обработки диспетчерских заявок. В диспетчерских центрах используются коммутаторы с частичным использованием цифровых технологий (квазиэлектронные), которые постепенно заменяются на полностью цифровые коммутаторы.

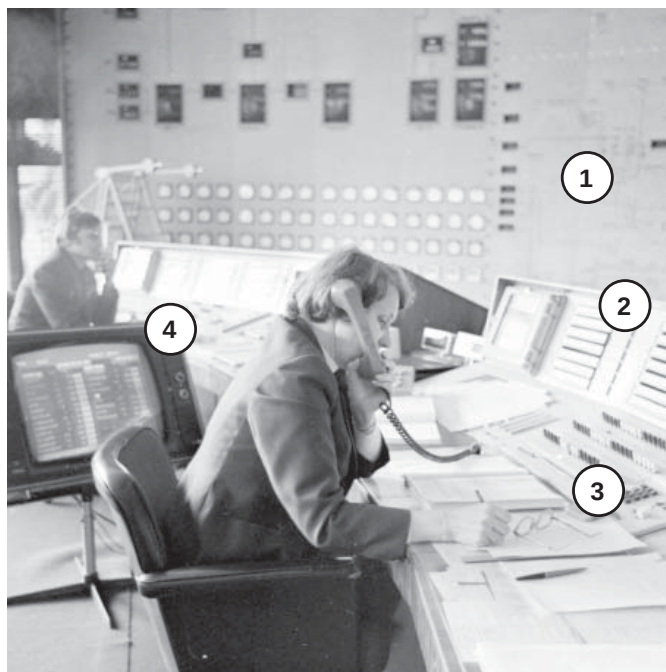
В объединенных диспетчерских управлениях и Центральном диспетчерском управлении устанавливаются агрегаты бесперебойного питания, обеспечивающие функционирование диспетчерских центров при неисправности в системах энергоснабжения.

Начинается замена аналоговых систем централизованного



Диспетчерский пульт ОДУ Средней Волги, 1980-е годы.

1 — телефонный коммутатор, 2 — приборы индивидуального отображения, 3 — дисплеи «Видеотон»



Диспетчерский
центр ЦДУ
ЕЭС СССР,
1980-е годы.

- 1 — приборы
общего
пользования,
- 2 — приборы ин-
дивидуально-
го отобра-
жения,
- 3 — телефонный
коммута-
тор,
- 4 — телевизор
для ото-
бражения
данных из
АСДУ

регулирования частоты и пере-
токов мощности, противоаварий-
ной автоматики объединенных
энергосистем (ОЭС) цифровы-
ми. Постепенно становятся циф-
ровыми и устройства записи пере-
говоров диспетчерского персонала.

ВЕК ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (СОВРЕМЕННОСТЬ)

Век информационных технологий
в отечественном диспетчерском
управлении пришелся уже на пе-
риод после 2002 года. Именно
в этом году был основан Систем-
ный оператор Единой энергетиче-
ской системы — государственная
компания, единолично выполня-
ющая функции технологического
управления электроэнергетиче-
ским режимом ЕЭС России. Ор-
ганизационная структура ком-
пании отражает трехуровневую
систему оперативно-диспетчер-
ского управления Единой энерго-
системой. На ее верхнем уровне
находится Центральное диспет-
черское управление, координиру-
ющее работу 7-ми нижестоящих
Объединенных диспетчерских
управлений (ОДУ), операцион-
ными зонами которых являются
объединенные энергосистемы.
Каждое ОДУ управляет режимом
крупнейших в своей зоне энерго-
объектов и координирует рабо-
ту региональных диспетчерских
управлений (РДУ). Операционная
зона каждого РДУ — это одна или

несколько региональных энер-
госистем. Всего в структуре Си-
стемного оператора 51 РДУ. В тех
субъектах Федерации, где РДУ
нет, открыты представительства
компании, отвечающие за взаи-
модействие с органами власти,
в том числе по вопросам развития
электроэнергетики в регионе.

В 2000-е годы АСДУ — много-
уровневая автоматизированная
система диспетчерского управ-
ления, заложенная в 1970-х, при-
обретает современный вид. Она
обеспечивает обмен информа-
цией в структуре диспетчерского
управления — между ЦДУ, ОДУ,
РДУ — с использованием широко-
полосных и высокоскоростных ка-
налов связи. Мозаичные диспет-
черские щиты сменяют составные
проекторные экраны, построен-
ные из видеокубов и обладающие
большими функциональными воз-
можностями, высокой информа-
ционной емкостью и хорошими
эргономическими характери-
стиками.

Формируется корпоративная
система связи, в том числе теле-
коммуникационная система с вы-
деленными каналами, обеспечи-
вающими связь диспетчерских
центров Системного оператора
с энергообъектами. Сейчас еди-
ная сеть диспетчерско-технологи-
ческой телефонной связи объеди-
няет более 100 коммутационных
систем емкостью свыше 85 тысяч
портов в исполнительном аппара-
те и филиалах Системного опера-
тора.

те и филиалах Системного опера-
тора.

В каждом диспетчерском цен-
тре устанавливается унифициро-
ванная учрежденческо-произ-
водственная автоматическая
телефонная станция (УПАТС).
Коммутационное оборудование
позволяет работать с аналого-
выми каналами и современными
цифровыми и IP-интерфейсами,
обладает многочисленными сер-
висами и благодаря встроенным
диспетчерским подсистемам обе-
спечивает надежную и comfort-
ную телефонную связь для веде-
ния оперативных переговоров.

Кроме того, внедряется систе-
ма централизованного управле-
ния сетью коммутационного обо-
рудования, которая обеспечивает
эффективное и надежное управ-
ление всем коммутационным обо-
рудованием.

В начале 2000-х годов осу-
ществляется переход на управ-
ление режимами ЕЭС России на
основе единого программного
обеспечения. Первым единым
оперативно-информационным
комплексом стал ОИК СК-2003.
С момента внедрения в начале
70-х годов прошлого века ОИК
пережил несколько модификаций
и модернизаций, и сейчас диспет-
черы используют для управления
энергосистемой ОИК СК-2007.

В середине 2000-х годов Си-
стемный оператор начал внедре-
ние в ЕЭС России системы мо-
ниторинга переходных режимов
(СМПР) на основе широко при-
меняемой в мировой энергетике
технологии векторных измерений
WAMS. СМПР является основным
инструментом сбора информации
об электромеханическом пере-
ходном режиме, необходимой для
верификации динамической циф-
ровой модели энергосистемы.

В этот же период началась
промышленная эксплуатация
программного комплекса (ПК)
RastrWin, предназначенного для
расчета установившихся электро-
энергетических режимов и ста-
тической устойчивости энергоси-
стем.

Во второй половине 2000-х го-
дов на базе ОИК СК-2003 в про-
мышленную эксплуатацию вве-
дены подсистемы «Электронный

Современное
рабочее место
диспетчера.
Московское РДУ,
2010 год.

- 1 — диспетчерский щит-видеостена,
2 — мониторы для отображения данных из АСДУ,
3 — телефонный коммутатор



оперативный журнал» и «Подсистема межуровневого обмена регламентной информацией дежурных информаторов с прохождением ее между центрами управления по уровням иерархии» (Журнал ДИ). Началась эксплуатация нового ПК «Заявки», который в дальнейшем был модернизирован введением дополнительных модулей — ПК «Ремонты» и ПК «Перечень». В конце 2000-х годов введена в эксплуатацию подсистема ОИК «Контроль перетоков в опасных сечениях». Для обеспечения автоматизированного выполнения тех же функций и оптимального использования пропускной способности сети Системный оператор начал работу по созданию и внедрению в энергообъединениях систем мониторинга запаса устойчивости (СМЗУ). В этот же период введена в промышленную эксплуатацию Центральная координирующая станция автоматического регулирования частоты и мощности (ЦКС АРЧМ) ЕЭС России. Обеспечены вводы и модернизация систем АРЧМ в центральной части ОЭС Северо-Запада, ОЭС Урала, ОЭС Юга, ОЭС Сибири, начата модернизация ЦС АРЧМ в ОЭС Востока. В 2010 году в ОЭС Юга и ОЭС Средней Волги введены в эксплуатацию централизованные системы противоаварийной автоматики (ЦСПА) нового поколения.

В начале 2010-х годов в Системном операторе введен в промышленную эксплуатацию новый программно-вычислительный комплекс расчета динамической устойчивости энергосистем ПК RuStab, а также Многоуровневая распределенная электронная библиотека нормативной документации и типовых программ переключений АО «СО ЕЭС» (ПАК ДЭБ).

В 2016 году началась промышленная эксплуатация программы для электронных вычислительных машин и базы данных «Трёхуровневая автоматизированная система формирования физических и эквивалентных моделей для расчетов и оценивания электрических режимов» (ТАС), позволяющей формировать расчетные модели для определения установившихся режимов и оценки состояния требуемой размерности на основе полной модели ЕЭС России. Начались работы по интеграции ТАС с ПК «Заявки», ПК «Ремонты», ПК «Перечень» и ПК RastrWin.

В 2014 году принята Политика развития информационных технологий АО «СО ЕЭС» на период до 2018 года, предусматривающая в том числе переход на производственные, но при этом экономичные центры обработки данных. В рамках реализации проекта построения Единого территориально-распределенного корпоративного центра обработки данных

(ЕТРК ЦОД) введены в эксплуатацию унифицированные модули ЕТРК ЦОД в филиалах ОДУ Востока, ОДУ Урала, ОДУ Юга, ОДУ Центра и ОДУ Северо-Запада, а также локальные вычислительные комплексы в большинстве филиалов — региональных диспетчерских управлений, позволяющие оптимизировать использование вычислительных ресурсов и повысить надежность работы ИТ-инфраструктуры оперативно-диспетчерского управления, а также обеспечить основы для виртуализации систем реального времени и процедуры «бесшовной» миграции информационных систем в виртуальную среду.

В современном процессе оперативно-диспетчерского управления, включающем в себя прогнозирование балансов, расчет режимов, технологическое обеспечение работы оптового рынка, используется более 100 программных и программно-аппаратных комплексов. Рабочее же место диспетчера при таком значительном расширении его возможностей, напротив, стало более компактным, чем десятилетия назад. Все информацию, необходимую для управления режимами, он получает с экранов нескольких мониторов, соединенных с централизованным сервером, на котором работает вышеупомянутое специализированное программное обеспечение. 