

# Опыт создания WAMPAC Монголии

Применение систем класса WAMS для осуществления мониторинга работы энергосистемы в переходных и установившихся режимах в реальном времени становится распространенной практикой. Однако случаи создания полноценных WAMPAC для автоматического противоаварийного управления с целью обеспечения устойчивости энергосистем достаточно редки и чаще всего представляют собой пилотные проекты с действием «на сигнал». Реальный опыт создания такой системы в энергосистеме Монголии может быть ценным для сотрудников оперативно-диспетчерских управлений, участвующих в создании систем мониторинга, защиты и управления. При создании системы использовались программное обеспечение, устройства и комплексы, разработанные ООО «ПАРМА» и d.o.o. ELPROS, а также нормативно-техническая документация, действующая в России.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** WAMPAC, WAMS, PMU, PDC, синхронизированные векторные измерения, устойчивость, автоматика разгрузки по активной мощности

## Авторы:

Немкович А.С.,  
Амарсанаа Ч.,  
Энхболор Б.,  
Эрхэмзая Б.

Монгольская энергосистема характеризуется дефицитом собственных генерирующих мощностей и практически полным отсутствием средств противоаварийного автоматического управления. При этом, согласно прогнозу максимума нагрузки Центрального энергорайона энергосистемы Монголии на 2014–2020 г., наблюдается рост электропотребления в среднем на 10 % в год. В 2020 году максимум нагрузки составил 2409 МВт, электропотребление – 14139 млн. кВт·ч. Поэтому обеспечение устойчивости работы энергосистемы – первоочередная задача национального диспетчерского центра (НДЦ) Монголии. В связи с этим НДЦ Монголии был инициирован двухэтапный проект по созданию современной управляющей системы, работающей на базе синхронизированных векторных измерений (СВИ):

- первый этап: создание масштабируемой WAMS энергосистемы Монголии с контролем двадцати четырех присоединений: восемь генераторных присоединений, два автотрансформатора и четырнадцать линий электропередачи (ЛЭП);

- второй этап: расширение системы, созданной на первом этапе, программными и аппаратными средствами до WAMPAC для обеспечения автоматического противоаварийного управления.

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

Монголия импортирует электроэнергию из России по двум ЛЭП 220 кВ: ВЛ-257 и ВЛ-258 (сечение «Селендума – Дархан»). В результате расчетов статической устойчивости, выявлено, что для повышения максимально допустимого перетока (МДП) через сечение «Селендума – Дархан», необходимо выполнить комплекс мер, в том числе НДЦ Монголии необходимо организовать со своей стороны автоматику разгрузки ВЛ-257 и ВЛ-258 по активной мощности. Для этой цели НДЦ Монголии было выбрано четырнадцать ЛЭП 110 кВ на пяти энергообъектах. Выбранные ЛЭП 110 кВ, которые необходимо отключать в пять очередей в случае перегрузки ВЛ-257 и ВЛ-258, приведены в таблице 1.

Основной целью данного проекта является создание централизованной системы автоматического противоаварийного управления – WAMPAC, реализующей функцию автоматической разгрузки сечения «Селендума – Дархан» по активной мощности.

Основной задачей указанной автоматики является обеспечение разгрузки межгосударственных ЛЭП 220 кВ № 257 и № 258 при превышении предельно допустимого перетока по активной мощности путем выдачи управляющих воздействий на отключение выбранных ЛЭП 110 кВ.

Таблица 1. Очереди отключения ЛЭП

Очередь	Энергообъект	Отключаемые ЛЭП	Выдержка времени, с
1	ПС 220 кВ «Чойр»	Тумуртэй, МАК, Бор-Ундур	10
2	ПС 220 кВ «Дархан»	Кхутул-А, Кхутул-Б, Уилдвер-А, Уилдвер-Б	20
3	ПС 220 кВ «Эрдэнэт»	Булган-А, Булган-Б	25
4	ПС 220 кВ «Улан-Батор»	137, 138	30
5	ТЭЦ-4	Ярмаг-А, Ярмаг-Б, 118	35

## РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА

На первом этапе реализации проекта была создана WAMS Монголии. WAMS Монголии является многоуровневой распределенной автоматизированной системой сбора, обработки и хранения данных СВИ, характеризующих электромеханические переходные и установившиеся режимы работы энергосистемы. Также система осуществляет автоматический сбор файлов аварийных осциллограмм с объектовых интеллектуальных устройств.

Система состоит из двух уровней:

- уровень энергообъектов;
- уровень диспетчерского центра.

На девяти энергообъектах установлено три PDC и PMU для контроля двадцати четырех присоединений. В рамках данного проекта используются PMU трех типов:

- ПАРМА РП4.12: PMU прошел испытания в ОДС СО ЕЭС для измерения параметров систем возбуждения синхронных генераторов, а также для применения на линейных присоединениях, имеет гарантированные метрологические характеристики и включен в Госреестр СИ. В связи с этим PMU ПАРМА РП4.12 установлен на всех генераторных присоединениях системы и наиболее ответственных линейных присоединениях, в том числе на межгосударственных ЛЭП 220 кВ;
- ПАРМА РП4.11: PMU использовался на объектах, на которых уже установлен автономный регистратор аварийных событий (РАС) ПАРМА РП4.11. Для снижения затрат существующие автономные РАС были дооснащены блоками ПУ16/32М4 для выполнения функции PMU. Данный тип PMU также прошел все необходимые испытания в ОДС СО ЕЭС и включен в Госреестр СИ;
- SEL-311C, SEL-487E: для сокращения затрат данный тип PMU использовался на некоторых ЛЭП 110 кВ и автотрансформаторных присоединениях, на которых уже были установлены устройства РЗА SEL с функцией PMU.

PDC объектового уровня представляют собой серверы промышленного исполнения с установленным программным обеспечением (ПО) TRANSWAVE. Основное назначение ПО TRANSWAVE – это реализация функций единого объектового сервера сбора, обработки, архивации и передачи в автоматизированные системы данных СВИ, характеризующих электро-

**Таблица 2.** Функциональные модули реального времени WAProtector

Наименование функционального модуля	Назначение функционального модуля
Контроль параметров режима	Контроль уровня напряжения, частоты и скорости ее изменения в заданных узлах энергосистемы
Контроль разности фазовых углов	Контроль разности фазовых углов между заданными узлами энергосистемы
Мониторинг низкочастотных колебаний (НЧК) и выявления их источника	Контроль уровня и критериев качества демпфирования НЧК в заданных узлах энергосистемы
Модуль выявления режимов КЗ в энергосистеме	Выявление режимов КЗ и определения типа повреждения в энергосистеме

механические переходные и установившиеся режимы в электроэнергетических системах, а также автоматический сбор и каталогизация файлов осциллограмм с интеллектуальных устройств защиты, мониторинга и управления по протоколу MMS МЭК61850-8-1. Глубина циклического архива СВИ на уровне энергообъектов – 180 суток.

На верхнем уровне системы установлен главный PDC (основной и резервный комплекты), который выполняет следующие функции:

- сбор данных с PMU и PDC, установленных на уровне энергообъектов;
- обработка, хранение и мониторинг качества и хранение поступающих данных СВИ;
- обнаружение аварийных событий в реальном времени и формирование отчетов о выявленных событиях.

Глубина хранения линейных архивов СВИ на главном PDC составляет 180 суток, глубина хранения аварийных архивов – бессрочно.

В качестве главного PDC используется ПО WAProtector (d.o.o. ELPROS). WAProtector – это программный комплекс, ориентированный на работу в реальном времени с большими объемами данных СВИ. WAProtector предоставляет набор функциональных программных модулей и специальный инструментарий для создания пользовательских алгоритмов, предназначенных для решения задач контроля и управления в реальном времени для обеспечения устойчивости работы энергосистемы.

Состав и назначение используемых функциональных программных модулей WAProtector приведен в таблице 2.

Все функциональные программные модули реального времени имеют пусковые органы, которые могут использоваться для следующих целей:

- отображение на графическом пользовательском интерфейсе в качестве

аварийной и предупредительной сигнализации, а также для других способов визуализации;

- отправка сигналов/команд управления в существующие SCADA/EMS/контроллеры и терминалы управления объектового уровня по протоколам МЭК60870-5-101/104, DNP3 и IEC 60870-6/TASE.2/ICCP.

Для аварийных событий, фиксируемых системой, обеспечена возможность автоматической генерации отчетов со сводным списком наиболее важных событий за заданный период времени. Отчеты могут быть событийные, т.е. формирующиеся по событию, и регулярные, т.е. формирующиеся ежесуточно, еженедельно и т.д. Фрагмент автоматически сформированного отчета WAProtector о выявленном однофазном коротком замыкании на ВЛ-258, произошедшем 18.07.2020, представлен на рис. 1.

Отчеты могут формироваться в файлах форматов html, docx, xlsx.

На втором этапе реализации проекта на базе WAMS Монголии была создана WAMPAC – централизованная автоматика разгрузки ВЛ-257 и ВЛ-258.

Структурная схема WAMPAC представлена на рис. 2.

Данные СВИ о параметрах текущего режима ВЛ-257 и ВЛ-258 передаются от PMU ПАРМА РП4.12, установленного на ПС 220 кВ «Дархан» на серверы НДЦ WAProtector по протоколу IEC 61850-9-2. Алгоритм автоматики, реализованный в WAProtector, осуществляет в реальном времени контроль перетоков мощности через сечение «Селендума – Дархан». WAProtector обеспечивает выдачу управляющих воздействий через заданную выдержку времени на объектовый уровень по протоколу МЭК 60870-5-104 в контроллеры SEL RTAC-3505-3. Указанные контроллеры в свою очередь воздействуют выходными реле на дискретные входы терминалов автоматики

Company Name:	National Dispatching Center		
Company Address:	Mongolia, Ulaanbaatar, Chingis Avenue, Khan-Uul district, 3 th Khoroo, Government building 14		
City:	Ulaanbaatar		
Country:	Mongolia		
Telephone Number:	+70041371		
Fax Number:	+70043467		
Web Page:	http://www.ndc.energy.mn		

Date:	2020-07-18	Time:	05:29:59	Date:	2020-07-18	Time:	05:30:02
From (UTC):	2020-07-17	To (UTC):	2020-07-17	From (UTC):	2020-07-17	To (UTC):	2020-07-17

Event start time:	2020-07-18 05:30:00,300		
Report Period:	00:00:03.0800000		
Report generated on demand:	AUTO-SYSTEM		
Device:	WAProtector		

Short Circuit Locator: Short Circuit Locator/ShortCircuitLocator

Main markers

N	Location	Event time	SC Type	Strongest	Response time [s]	RTE
1	220kV Darhan	2020-07-18 05:30:00,300	B-E	False	0,080	False
2	220kV Darhan	2020-07-18 05:30:00,300	B-E	True	0,100	False

Peak markers

N	Location	Pre-Va [kV]	Pre-Vb [kV]	Pre-Vc [kV]	Va [kV]	Vb [kV]	Vc [kV]
1	220kV Darhan	134,64	135,19	134,39	136,19	73,11	140,97
2	220kV Darhan	134,91	135,38	134,46	131,90	73,13	141,10

N	Location	Pre-Ia [A]	Pre-Ib [A]	Pre-Ic [A]	Ia [A]	Ib [A]	Ic [A]
1	220kV Darhan	88	89	83	41	1250	120
2	220kV Darhan	88	90	84	124	282	136

Location legend

N	Location	Module Id
1	220kV Darhan	Darhan L-258 PTasks/Out/Darhan L-258 ShortCircuitDetector
2	220kV Darhan	Darhan L-257 PTasks/Out/Darhan L-257 ShortCircuitDetector

Voltage A

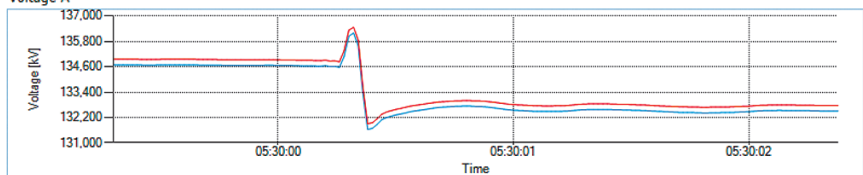


Рис. 1. Фрагмент отчета модуля выявления коротких замыканий

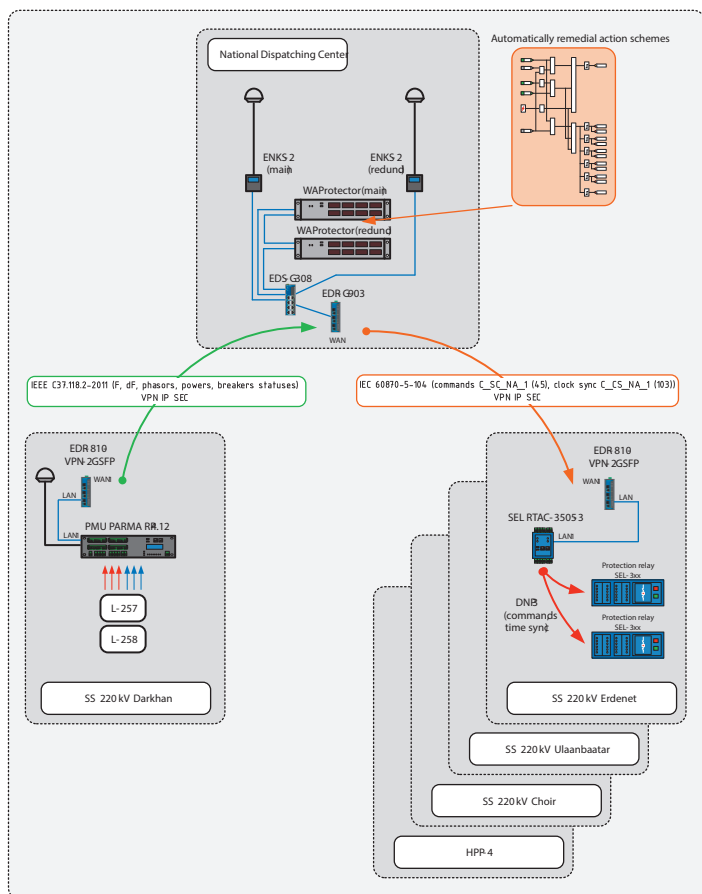


Рис. 2. Структурная схема WAMPAC

управления, которые отключают выбранные ЛЭП 110 кВ.

Алгоритм, реализованный в WAProtector, обеспечивает отсутствие выдачи управляющих воздействий при коротких замыканиях на ВЛ-257 или ВЛ-258: пусковые органы автоматики блокируются при срабатывании модуля выявления коротких замыканий на указанных присоединениях.

Также система обеспечивает отсутствие ложного срабатывания при:

- снятии и подаче электропитания элементов системы;
- возникновении неисправностей в цепях оперативного тока;
- возникновении неисправностей в цепях напряжения и тока;
- потере цепей напряжения;
- перезагрузке устройств, входящих в состав системы;
- изменении уставок;
- недостоверности данных СВИ.

Для отображения диагностической информации о работе автоматики в WAProtector разработан специальный набор экранных форм. Одна из экранных форм, доступная для сотрудников НДЦ, показана на рис. 3.

Второй этап проекта завершился шестидневными системными испытаниями и вводом системы в эксплуатацию.

За год эксплуатации WAMPAC было зафиксировано два успешных срабатывания автоматики с выполнением отключения ЛЭП 110 кВ:

- 25.06.2021 в следствие срабатывания технологических защит на ТЭЦ-4 и снижения генерируемой мощности произошло повышение перетока активной мощности через сечение «Селендума – Дархан» с 57,7 МВт до 203,9 МВт с последующей успешной разгрузкой 48,7 МВт путем отключения Тумуртэй, МАК, Бор-Ундур;
- 02.08.2021 в аналогичной ситуации произошло повышение перетока активной мощности через сечение «Селендума – Дархан» с 201,1 МВт до 269 МВт с последующей успешной разгрузкой 42 МВт путем отключения Тумуртэй, МАК, Бор-Ундур.

**ВЫВОДЫ**

В результате проекта была создана современная WAMPAC, которая решает следующие задачи, поставленные НДЦ Монголии:

- повышение надежности работы энергосистемы за счет реализации системы мониторинга нового типа, позволяющей получать в реальном времени синхронизированную с высокой точностью и достоверную инфор-

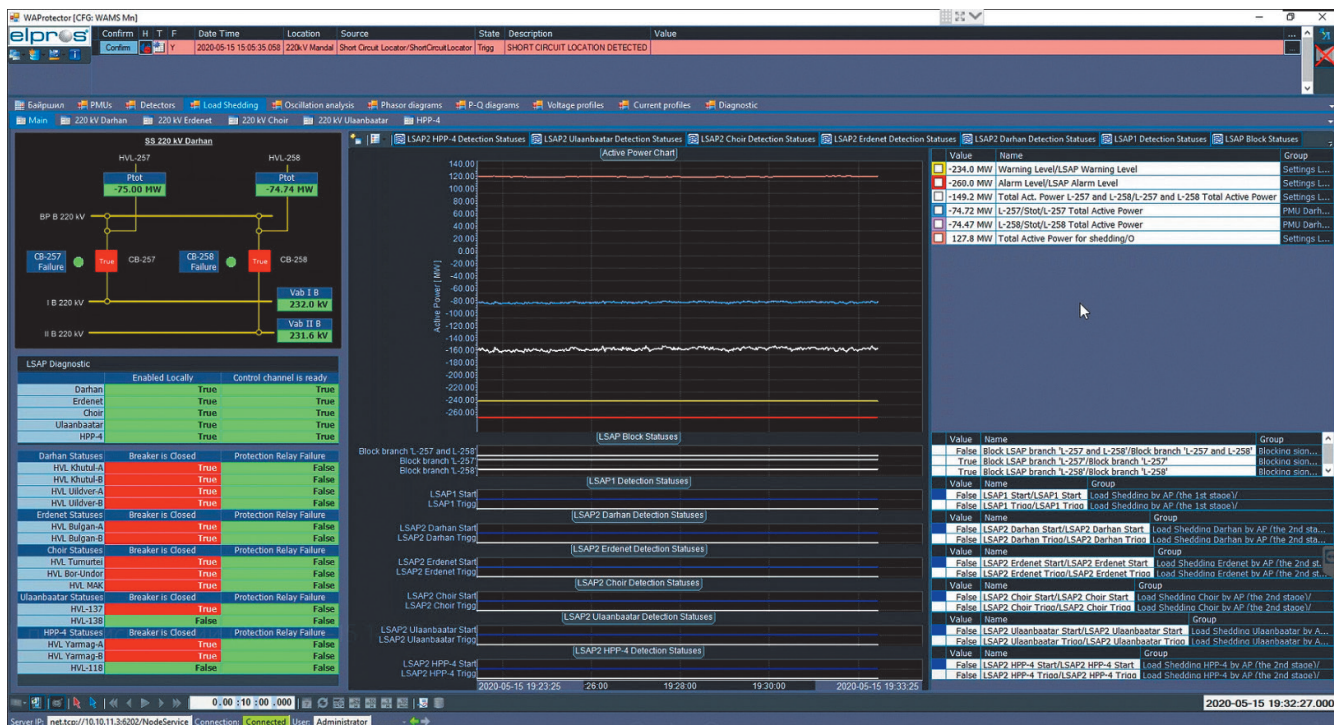


Рис. 3. Экранная форма WAProtector

мацию о протекающих процессах во всех режимах работы энергосистемы: как в установившихся, так и переходных;

- снижение эксплуатационных затрат и затрат на создание автоматизированных систем мониторинга и диспетчеризации за счет реализации функционала нескольких автоматизированных систем (СМГР, РАС, ССНТИ) на единой программно-аппаратной платформе;
- предотвращение работы синхронных генераторов в недопустимых режимах: осуществление мониторинга генераторного оборудования в части правильности настройки АРВ, выявление неэффективно демпфируемых мод низкочастотных колебаний, которые могут приводить к нарушению устойчивости и снижению ресурса механической части агрегатов;

- выявление источников низкочастотных колебаний и определение их характеристик в реальном времени;
- выявление режимов коротких замыканий (КЗ) в магистральных электросетях с автоматическим формированием отчетов о коротком замыкании (тип повреждения, параметры режима, длительность протекания тока КЗ и т.д.);
- автоматический контроль параметров режима, характеризующих устойчивость работы энергосистемы: частота, скорость изменения частоты, амплитуды и фазовые углы напряжений;
- реализация алгоритмов автоматического противоаварийного управления энергосистемой: ЦСПА нового типа, базирующейся на данных СВИ.

### ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р 59364-2021. Единая энергетическая система и изолировано работающие энергосистемы. Релейная защита и автоматика. Система мониторинга переходных режимов. Система мониторинга переходных режимов. Нормы и требования – Москва: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2021. – 45 с.
- ГОСТ Р 59365-2021. Единая энергетическая система и изолировано работающие энергосистемы. Релейная защита и автоматика. Система мониторинга переходных режимов. Система мониторинга переходных режимов. Нормы и требования – Москва: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2021. – 15 с.

## Experience of creating WAMPAC Mongolia

Nemkovich A.S., LLC «PARMA», Saint Petersburg, Russian Federation  
 Amarsanaa C., Enkhbolor B., Erhemzaya B., LLC «NDC»

The use of WMS class systems for monitoring the operation of the power system in electromechanical and steady-state modes in real time is becoming a common practice. However, cases of creating full-fledged WAMPACS for automatic emergency management in order to ensure the stability of power systems are quite rare and most often represent pilot projects with an action «on the signal». The real experience of creating such a system in the Mongolian energy system can be valuable for employees of operational dispatch departments involved in the creation of monitoring, protection and management systems. When creating the system, software, devices and complexes developed by PARMA LLC and d.o.o. ELPROS, as well as regulatory and technical documentation in force in Russia, were used.

**KEYWORDS:** WAMPAC, WAMS, PMU, PDC, synchronized vector measurements, stability, automatic unloading by active power