



**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»**

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЕРХНЕГО УРОВНЯ
ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
ПОДДЕРЖАНИЯ РЕЗЕРВОВ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ КАЛИНИНГРАДСКОЙ
ОБЛАСТИ
(ПО «ЦС АПРАМ»)**

Москва, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	3
1. НАЗНАЧЕНИЕ СИСТЕМЫ.....	4
2. АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ.....	6
3. АЛГОРИТМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ.....	88
4. СХЕМА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА.....	122
4.1. Роль сервера.....	122
4.2. Роль диспетчера.....	133
4.3. Роль администратора.....	134
4.4. Роль дежурного.....	135
4.5. Роль диспетчера-оффлайн.....	146
5. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ.....	146
6. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ.....	157

ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

Основные понятия, сокращения и их определения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные понятия, сокращения и их определения

Сокращение	Описание или расшифровка
АО «СО ЕЭС»	Акционерное общество "Системный оператор единой энергетической системы России"
АРМ	Автоматизированное рабочее место
ОИК СК-11	Информационно-управляющая система "Оперативно-информационный комплекс СК-11"
ПО «ЦС АПРАМ»	Программное обеспечение централизованной системы автоматического поддержания резервов активной мощности электростанций электростанций энергосистемы калининградской области
СУБД	Система управления базами данных

1. Назначение Системы

Основным назначением ПО «ЦС АПРАМ» является автоматическое поддержание требуемого объема вторичных резервов в энергосистеме Калининградской области путем регулирования величины генерации на электростанциях, участвующих в третичном регулировании

ПО «ЦС АПРАМ» обеспечивает улучшение качества деловых (технологических) процессов:

- автоматизация поддержания на электростанциях Калининградской области нормативных резервов вторичного и третичного регулирования;

- повышение качества управления электроэнергетическим режимом энергосистемы Калининградской области для условий ее изолированной работы.

Основными функциями ПО «ЦС АПРАМ» являются:

1. управление мощностью энергоблоков для обеспечения требуемых резервов вторичного регулирования с учетом очередности загрузки, определяемой ранжированными таблицами;

2. вычисление требуемых величин вторичного и третичного регулирования;

3. формирование советов диспетчеру о необходимости пуска энергоблоков, находящихся в резерве, или отключения энергоблоков, с переводом их в резерв, с учетом ранжированных перечней и временных характеристик пуска и набора мощности;

4. формирование советов по управлению мощностью энергоблоков для обеспечения требуемых резервов вторичного регулирования с учетом очередности загрузки, определяемой ранжированными таблицами в режиме офлайн или для энергоблоков, не подключенных к Системе;

5. определение характеристик отклонения электрического режима от планового диспетчерского графика.

Автоматическое поддержание требуемого объема вторичных резервов в энергосистеме достигается за счет:

1. получения актуальной информации о текущем электрическом режиме, расчетных значениях небалансов с учетом действия противоаварийной автоматики из внешних систем;

2. определения необходимых (нормативных/требуемых) резервов вторичного регулирования (РВР);

3. определения необходимых для поддержания РВР величин мощности энергоблоков;

4. представления результатов расчетов по изменению мощности энергоблоков диспетчеру ДЦ;

5. выполнения спорадических передач команд на изменение мощности энергоблоков, участвующих в третичном регулировании, для поддержания РВР на станции, регулирующей частоту. Автоматическая загрузка/разгрузка энергоблоков станций должна выполняться с их нормативными скоростями в очередности, определяемой ранжированными таблицами (РТ), передаваемыми в ПО «ЦС АПРАМ» в качестве исходных данных.

Автоматизированное поддержание требуемого объема третичных резервов в энергосистеме достигается за счет:

1. получения актуальной информации о плановой мощности энергоблоков, прогнозов потребления в диспетчерском графике;

2. определения необходимых (нормативных/требуемых) резервов третичного регулирования (РТР);

3. формирования советов диспетчеру ДЦ по пуску или останову энергоблоков;

4. принятия/ непринятия сформированных ПО «ЦС АПРАМ» советов диспетчером.

2. Архитектура Системы

Общая архитектура ПО «ЦС АПРАМ» приведена на Рисунке 1. Система состоит из отказоустойчивого кластера серверов и машин АРМ пользователей.

Основной и резервный серверы ПО «ЦС АПРАМ» обеспечивают хранение данных в СУБД Postgres Pro, взаимодействие с энергоблоками электрических станции по протоколу МЭК 60870-5-104, взаимодействие с ОИК СК-11, а также работу вычислительных алгоритмов определения необходимых резервов электрической мощности станций и формирования рекомендаций по их поддержанию. Серверы объединены в отказоустойчивый кластер с использованием свободно-распространяемого ПО ETCD, Patroni, KeepAlived.

АРМ пользователей ПО «ЦС АПРАМ» обеспечивают доступ к данным и функциям серверных приложений посредством графического интерфейса пользователя. В Системе реализованы следующие виды АРМ:

- Диспетчер – используется для оперативного контроля и управления резервами мощности;
- Диспетчер-офлайн – используется для планирования электрических режимов на будущие сутки;
- Дежурный – используется для контроля состояния ПО и оборудования ПО «ЦС АПРАМ» в процессе работы;
- Администратор - используется для контроля состояния и настройки информационного обмена между ПО «ЦС АПРАМ» и энергоблоками электрических станций.

Для получения дополнительной информации в ПО «ЦС АПРАМ» реализована возможность информационного обмена с ОИК СК-11. В случае нарушения в обмене информацией с энергоблоками электрических станций, работоспособность ПО «ЦС АПРАМ» может быть сохранена замещением недостоверной или отсутствующей информации из ОИК СК-11.

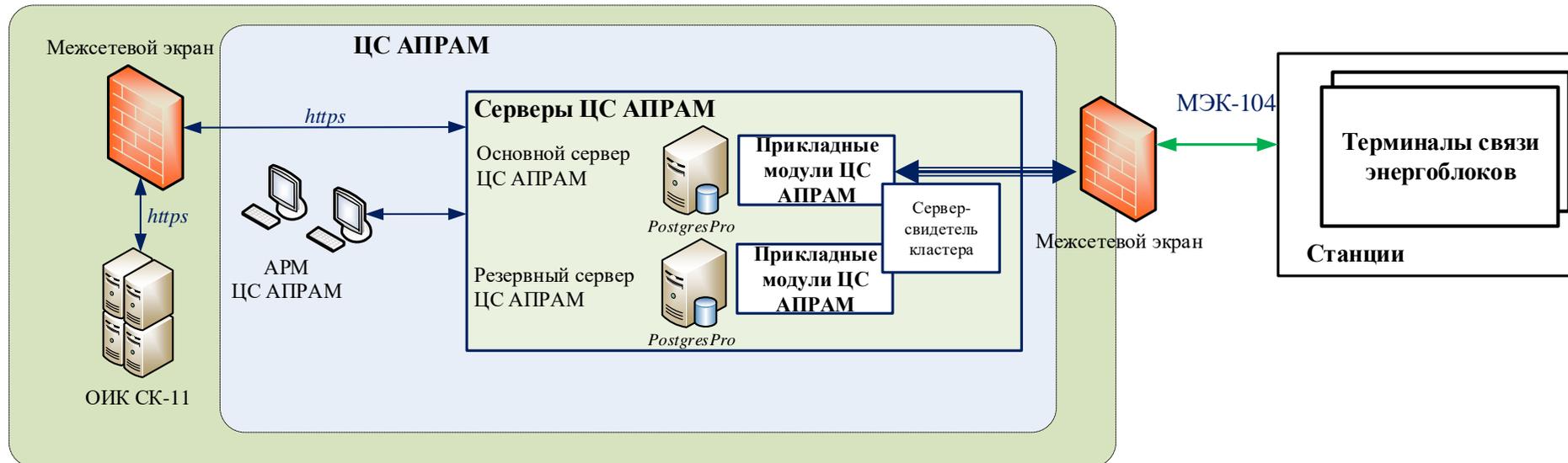


Рисунок 1. Архитектура ПО «ЦС АПРАМ»

3. Алгоритм работы Системы

Алгоритм базовой (головной) функции расчетов приведен на рисунке 2. Функция реализует вызов всех функций расчета (алгоритмы распределения РВР/РТР и т.п.). Функция работает с моделью в памяти программы, содержащей все входные и выходные параметры. Моделей в памяти программы может быть несколько: каждая из моделей соответствует одному очередному типу расчета (самая первая модель содержит исходные данные и результаты оптимизации запасов РВР для этой модели; последующие модели содержат результаты оптимизации РТР и оптимизации РВР). Очередная модель формируется на основе предыдущей путем внесения в нее всех изменений по результатам расчета (рисунок 2, а). Это позволяет оценивать результаты расчетов по оптимизации РВР отдельно от результатов расчетов по оптимизации РТР (которые содержат информацию о предложенных пусках/остановах энергоблоков), а также индивидуально результаты по оптимизации РТР при пусках/остановах каждого из предлагаемых энергоблоков. Каждая модель содержит массивы данных всех анализируемых часов. Далее такая модель именуется объектом распределения.

При расчетах используется следующий принцип:

- расчет для обеспечения РВР всегда применяется к существующему объекту распределения (в серверном модуле всегда один объект распределения, формируемый на основе исходных данных – объект распределения [0]),
- расчет для обеспечения РТР применяется к объекту распределения, для которого предварительно выполнен расчет РВР (выполняется в клиентском модуле, в модуле планировщика¹; здесь число объектов распределения ограничивается только особенностями режима энергосистемы, для которого можно или нельзя выбрать ЭБ для пуска или останова: объекты [0], [1], [2], ... N).

Если существует дефицит РТР, и в ходе расчета для обеспечения (либо частичного восстановления) РТР алгоритм может выбрать энергоблок для пуска/останова (энергоблок-А), то в этом случае пуск/останов сразу заносится в плановые графики внутри приложения (чтобы в дальнейшем можно было показать результаты расчетов пользователю), после учета пуска/останова выбранного энергоблока снова выполняется расчет для обеспечения РВР –

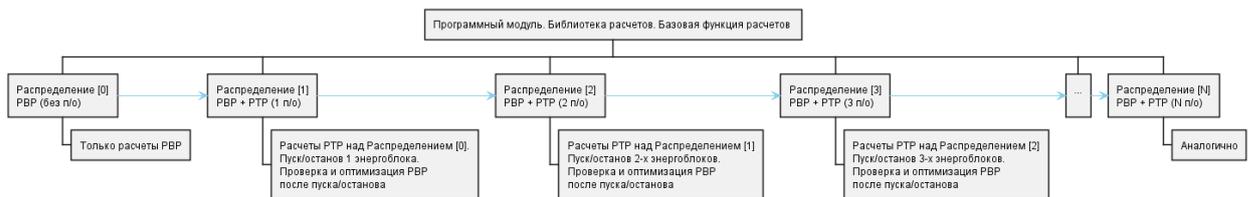
¹ Режим «офлайн»

формируется объект распределения [1] (содержит запуск/останов энергоблока-А).

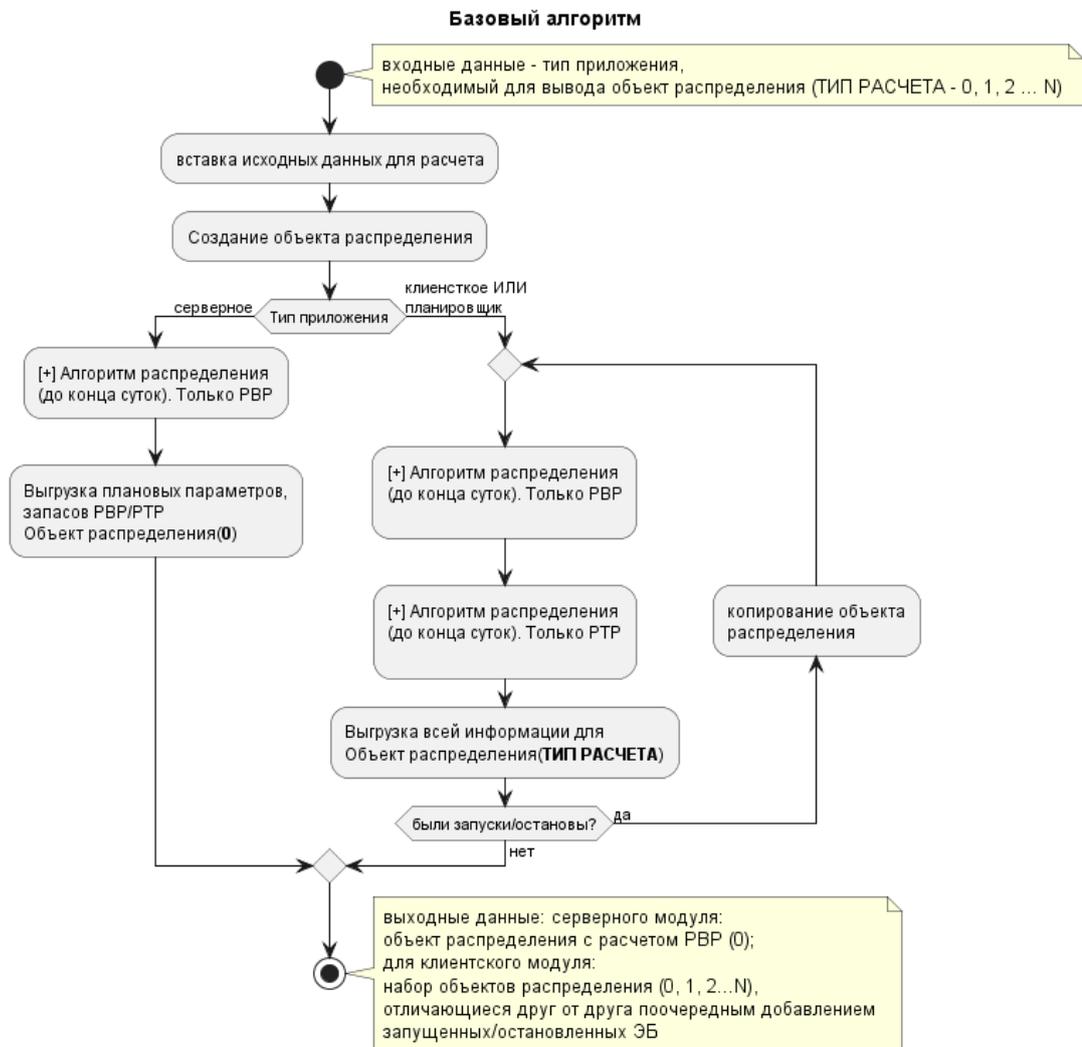
Над новым объектом распределения [1] вновь проводится расчет для обеспечения РТР. Если алгоритм может выбрать генератор для пуска/останова (энергоблок-Б), пуск/останов вновь заносится в плановые графики, производится расчет для обеспечения РВР – формируется объект распределения [2] (содержит запуск/останов энергоблока-А, запуск/останов энергоблока-Б).

Объект распределения [2] будет содержать запуск/останов энергоблоков А, Б. Последующий объект распределения [3] будет содержать запуск/останов энергоблоков А, Б, В и т.д.

В клиентском приложении и в приложении планировщика пользователь может выбрать для отображения любой из объектов распределения («ТИП РАСЧЕТА»: [0], [1], [2] ...) с целью анализа необходимости принятия каждого из сформированных предложений.



а) объекты распределения



б) базовая функция

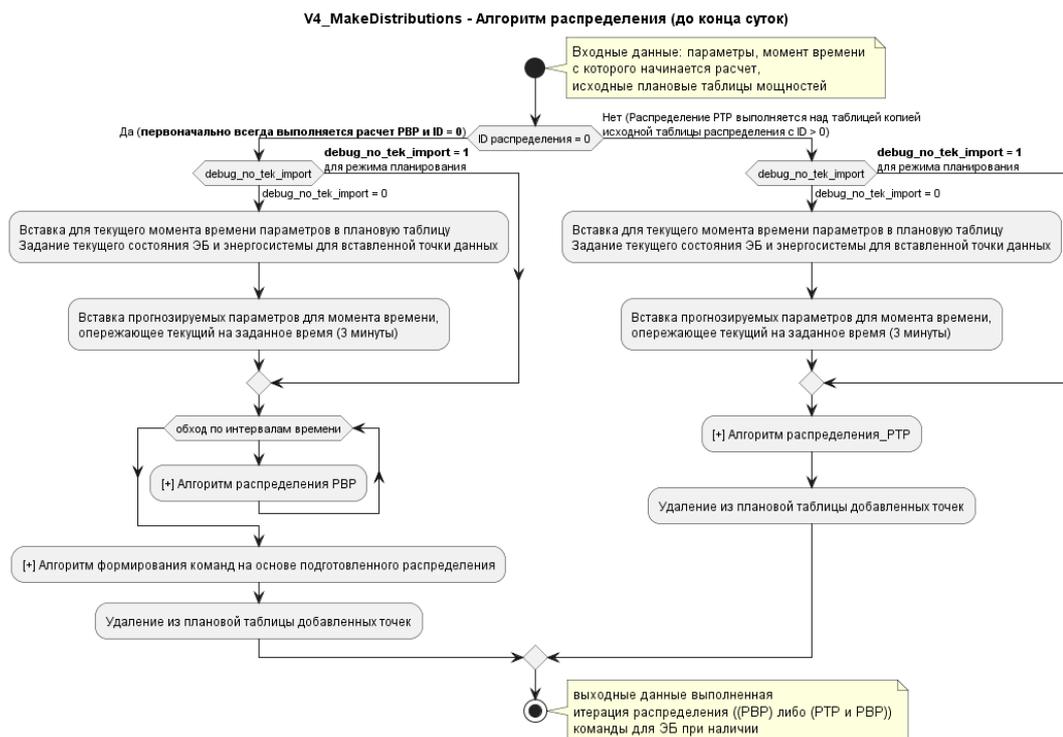
Рисунок 2 – Объекты распределения и базовый алгоритм формирования объектов распределения

Расчеты выполняются над введенными значениями времени (метками времени), которые не привязываются к фиксированным временным интервалам (например, часовым или получасовым) и могут задаваться произвольно и неравномерно. Все исходные данные, используемые в качестве плановых параметров (для энергосистемы, энергоблоков), должны быть с одинаковыми метками времени.

Алгоритм распределения (до конца суток) приведен на рисунке 3. Для режима «диспетчер офлайн» начальной точкой расчета всегда является момент времени 00:00.



а) Временные объекты



б) Алгоритм

Рисунок 3 – Алгоритм распределения мощности до конца суток

4. Схема информационного обмена

4.1. Роль сервера

Роль *Сервер* предназначена для выполнения основного расчетного потока (расчет текущих PVP и RTP). В этом режиме осуществляется управление передачей данных между различными элементами системы – формирование и рассылка сообщений, отображаемых на формах, чтение и запись данных в таблицы СК-11, отдача команд на станцию.

БД серверного модуля (схема серверного модуля в БД АПРАМ «server») содержит все основные технологические таблицы, так же таблицы, содержащие настройки обмена данными с ОИК СК-11.

Кроме этой схемы серверный модуль взаимодействует с БД, содержащей настройки обмена данными по МЭК-104 (схема «public104» в БД АПРАМ).

4.2. Роль диспетчера

Роль *Диспетчер* предназначена для осуществления диспетчерского контроля за состоянием энергосистемы, формирования советов по пуску / останову энергоблока, поддержания РВР и РТР. Подробное описание АРМ диспетчера приведено в руководство пользователя.

4.3. Роль администратора

Роль *Администратор* предназначена для конфигурирования перечня измерений, принимаемых и получаемых от СК-11 (заполнения таблиц, описывающих чтение из СК-11 и запись в СК-11), а также контроля работы основного и резервного серверов АПРАМ, статусов модулей, работающих в режиме сервера и клиентов, и контроля связи модулей со станциями.

В данном режиме работы основного модуля пользователю доступны следующие вкладки:

- «Связь с СК-11» – позволяет пользователю (администратору) осуществлять настройку чтения и записи данных в СК-11 и от СК-11;
- «Форма дежурного» в разделе «Управление энергосистемой» – позволяет пользователю (администратору) осуществлять контроль за состоянием серверного и клиентского модуля, основной и резервной СУБД АПРАМ, а также контролировать состояние данных в СК-11 и соединение со станциями.
- «Управление администратора» в разделе «Управление энергосистемой» – позволяет пользователю (администратору) осуществлять управление работой серверов и приложений АПРАМ.

4.4. Роль дежурного

Роль *Дежурный* предназначена для осуществления контроля за состоянием Системы – сервера АПРАМ и приложений диспетчеров АПРАМ, их синхронизацией с сервером, а также наличия связи со станциями (имитаторами станций).

Структура взаимодействия АРМ дежурного с БД полностью повторяет структуру АРМ Администратора.

4.5. Роль диспетчера-оффлайн

Роль *Диспетчер-оффлайн* предназначена для осуществления планирования (загрузки, корректирования и акцептирования планового графика энергосистемы и энергоблоков) на будущие сутки. Скорректированный график акцептируется и загружается пользователем в серверную БД.

5. Техническое обеспечение

Минимальные требования к серверам и АРМ пользователей приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Требования к аппаратным средствам ПО «ЦС АПРАМ»

№	Характеристики/устройства	Серверы 2 шт. (расчетные)	АРМ	Сервер имитатор	Сервер свидетель
1	4-х ядерный процессор, 2,0 ГГц и выше	+	+		+
2	Оперативная память – 8 ГБ	+			+
3	Оперативная память – 4 ГБ		+		
4	Жесткий диск: скоростной SAS/SSD – не менее 250 ГБ	+			+
5	Обычный жесткий диск (SATA, NFS, SMB) – 200 ГБ	+			+
6	Обычный жесткий диск (SATA, NFS, SMB) – 32 ГБ		+	+	
7	Сетевой интерфейс	не менее 2 шт.	+	+	не менее 2 шт.
8	Монитор (не менее 1920x1080)		+		
9	Клавиатура		+		
10	Мышь		+		
11	6-ти ядерный процессор, 2,0 ГГц и выше (в среде виртуализации)			+	
12	Оперативная память – 10 ГБ (в среде виртуализации) ²			+	

² Характеристики под 13 имитаторов. На каждый дополнительный имитатор потребуется около 700 Мб ОЗУ / SWAP HDD (рекомендуется использовать ОЗУ), на каждые два дополнительных имитаторов потребуется около одного ядра CPU

6. Программное обеспечение

Серверы и АРМ ПО «ЦС АПРАМ» работают под управлением ОС Astra Linux (версия ядра не ниже linux-6.1-generic). В таблице 3 приведен стек программного обеспечения, используемого ПО «ЦС АПРАМ».

Таблица 3 – Список зависимостей ПО ПО «ЦС АПРАМ»

Наименование ПО	Сервер	АРМ	Подкласс (при наличии) / назначение	Производитель	№ в реестре
Astra Linux Special Edition Релиз «Смоленск», ядра не ниже версии (6.1-generic)	+	+	Серверная операционная система специального назначения	ГК Astra Linux (ООО «РусБИТех-Астра»)	3348
Postgres Pro Enterprise Certified	+	+ ⁴	Система управления базами данных	ООО «Postgres Professional»	104
libwxgtk, не ниже версии 3.0-0v5 (с зависимостью от libwxbase3.0-0v5)	+	+	Библиотеки визуальных компонент	wxWidgets Cross-platform C++ GUI toolkit (GTK+ runtime)	нет
LibericaJDK, не ниже версии 17-Full	+	+	среда исполнения Java	BellSoft	нет
postgresql-contrib	+	+	Библиотеки C++ (для работы с postgres)	ООО «Postgres Professional»	нет
curl (libcurl4) libcurl4-openssl-dev	+		Библиотеки C++ (Работа с http/https/websocket)	–	–
systemd служба systemd-timesyncd (допускается chrony)	+	+	Менеджер запуска программного обеспечения	–	–
fly-admin-ad-client	+	+	Доступ к интерфейсу операционной системы	–	–
syslogd syslog-ng	+	+	Работа с syslog	–	–
logrotate	+	+	Автоматизация обработки системных журналов	–	–
timedatectl	+		Библиотеки работы с временем в ОС	–	–
snmpd	+		Работа с SNMP	–	–
rsync	+		Синхронизация данных	–	–
Kaspersky Endpoint Security	+	+	Обеспечение антивирусной защиты	АО «Лаборатория Касперского»	9121
Python, не ниже версии 3.11.9	+		Библиотеки визуальных компонент	Free software	–
Nginx, не ниже версии 1.22.1-9	+		Веб-сервер	Free software https://nginx.org/ru/	–

Наименование ПО	Сервер	ARM	Подкласс (при наличии) / назначение	Производитель	№ в реестре
gunicorn	+		Веб-сервер	Free software https://gunicorn.org/	–
django-admin	+		Фреймворк для приложений на python	Free software https://www.djangoproject.com/	–
psycopg	+		Фреймворк для приложений на python и postgres	Free software https://www.psycopg.org/	–
python, не ниже версии 3.7.3-1	+		Обеспечение работы компонент отказоустойчивости	–	–
etcd, не ниже версии 3.3.25+dfsg-6	+		Обеспечение работы компонент отказоустойчивости	–	–
patroni, не ниже версии 3.0.2-1	+		Обеспечение работы компонент отказоустойчивости	–	–
haproxy, не ниже версии 2.2.9-2astra6	+		Обеспечение работы компонент отказоустойчивости	–	–