

# Волна

Программно-вычислительный комплекс  
нестационарного моделирования,  
оптимизации и мониторинга  
газотранспортных систем



РФЯЦ-ВНИИТФ  
РОСАТОМ





# Содержание

|    |                                                 |
|----|-------------------------------------------------|
| 04 | Назначение                                      |
| 05 | Функции                                         |
| 06 | Методическое наполнение                         |
| 08 | Варианты расчётов режимов ГТС                   |
| 10 | Дополнительные возможности                      |
| 12 | Программная реализация и архитектура            |
| 14 | Системные требования                            |
| 16 | Взаимодействие с внешними системами             |
| 17 | Варианты поставки комплекса                     |
| 21 | Функционирование комплекса<br>«Волна-Диспетчер» |
| 22 | Правообладатели                                 |
| 22 | Контакты                                        |



## Назначение

Программно-вычислительный комплекс «Волна» предназначен для использования в газотранспортных обществах ПАО «Газпром» с целью поддержки принятия диспетчерских решений по управлению газотранспортными системами (ГТС).

Комплекс обеспечивает выполнение следующих задач диспетчерского управления:

- проведение инженерных расчётов стационарных и нестационарных режимов работы ГТС;
- расчёт и контроль текущих режимов ГТС в реальном времени;

- прогнозирование, оптимизация и планирование режимов транспортировки газа;
- обучение и повышение квалификации диспетчерского персонала.

Комплекс может также применяться для проведения инженерных расчётов в области проектирования ГТС.

В настоящее время программно-вычислительный комплекс «Волна» находится в промышленной эксплуатации в производственно-диспетчерских службах газотранспортных обществ ПАО «Газпром».

## Функции

Комплекс обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- редактирование схемы ГТС;
- редактирование сценария расчёта;
- управление расчётом в интерактивном режиме;
- интерактивное формирование сценария управляющих воздействий непосредственно в процессе расчёта;

- визуализация данных в процессе расчёта в виде списков, таблиц и графиков, а также на схеме ГТС в специальных полях вывода информации;
- экспорт данных в формате *xlsx*;
- ведение личных и централизованных архивов схем и выполненных расчётов;
- настройка многооконного интерфейса пользователя.



## Методическое наполнение

Программно-вычислительный комплекс «Волна» обеспечивает моделирование как стационарных, так и нестационарных режимов транспорта природного газа по многоточным ГТС произвольной конфигурации. При этом осуществляется расчёт давления, температуры, расхода и других параметров потока газа в зависимости от времени и положения вдоль магистрали в любом элементе линейной части газопровода, включая трубы, перемычки и байпасы. Расчёт режимов работы компрессорных цехов выполняется самосогласованно с расчётом параметров газовых потоков в линейных частях с учётом схемы подключения газоперекачивающих агрегатов и индивидуальных газодинамических характеристик.

Реализованная физикоматематическая модель нестационарного течения га-

за по трубам основывается на численном решении полной системы газодинамических уравнений в частных производных с одной пространственной переменной вдоль трубы. При этом учитываются турбулентное трение потока о стенку трубы, эффект Джоуля–Томсона, теплообмен трубы и грунта, теплоёмкость трубы, компонентный состав природного газа, рельеф местности вдоль трассы.

Разработанная численная методика решения нестационарных газодинамических уравнений обеспечивает: расчёт звуковых волн, а также нелинейных волн сжатия и разгрузки, распространяющихся вдоль газопровода при переходных процессах; расчёт критических режимов течения, возникающих в байпасах, свечах и при разрыве газопровода.

Применённая явная разностная схема позволяет проводить вычисления в параллельном режиме на многопроцессорных ЭВМ, что сокращает время расчёта и практически снимает ограничения на размер моделируемой ГТС.

Методика расчёта нестационарных газовых потоков в трубах опубликована в журнале «Математическое моде-

лирование», 2014 год, том 26, номер 7, стр. 87–96.

Для расчёта стационарных режимов течения газа по трубам используется физикоматематическая модель, описанная выше, но в стационарном случае она сводится к решению системы обыкновенных дифференциальных уравнений.



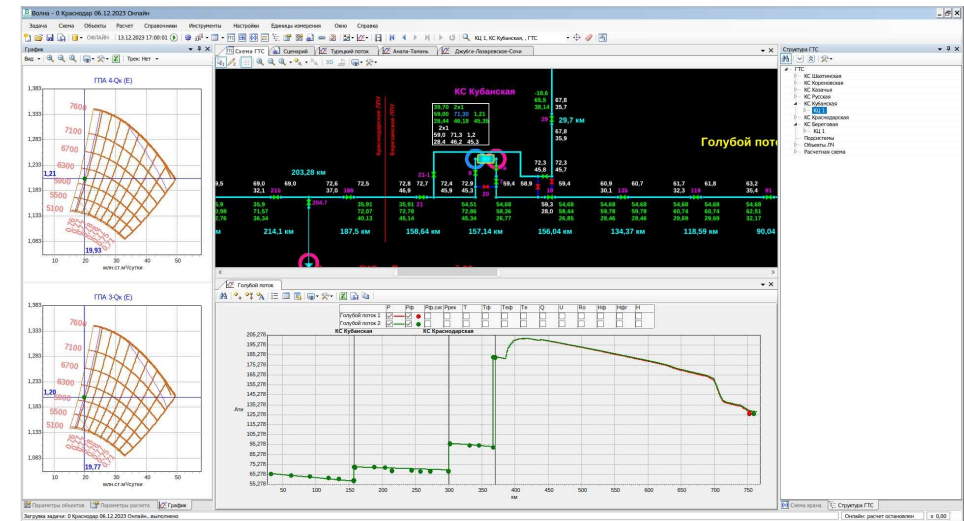
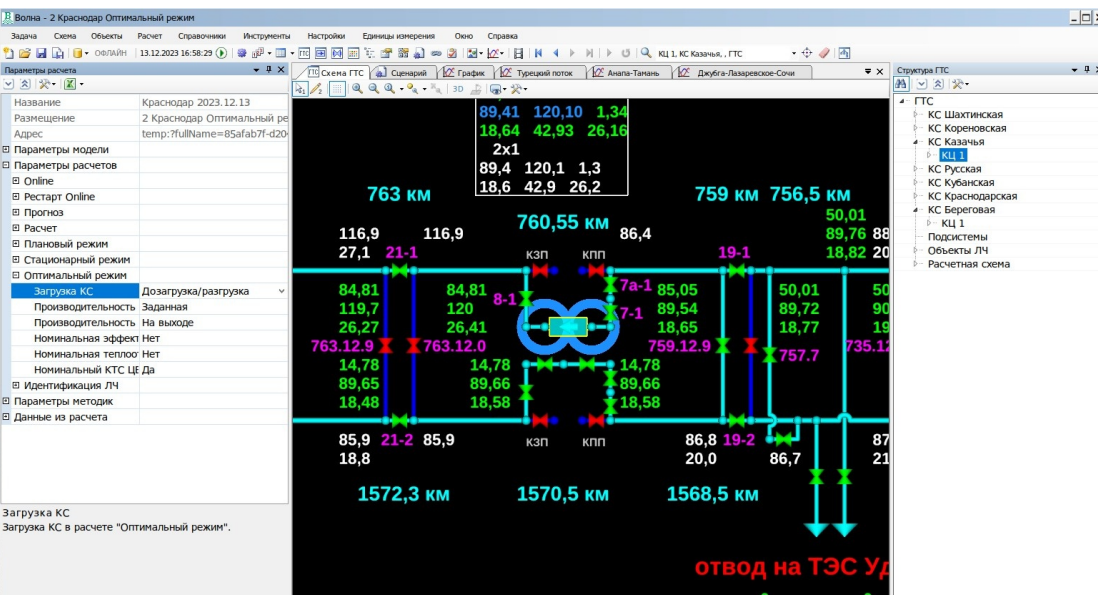


# Варианты расчётов режимов ГТС

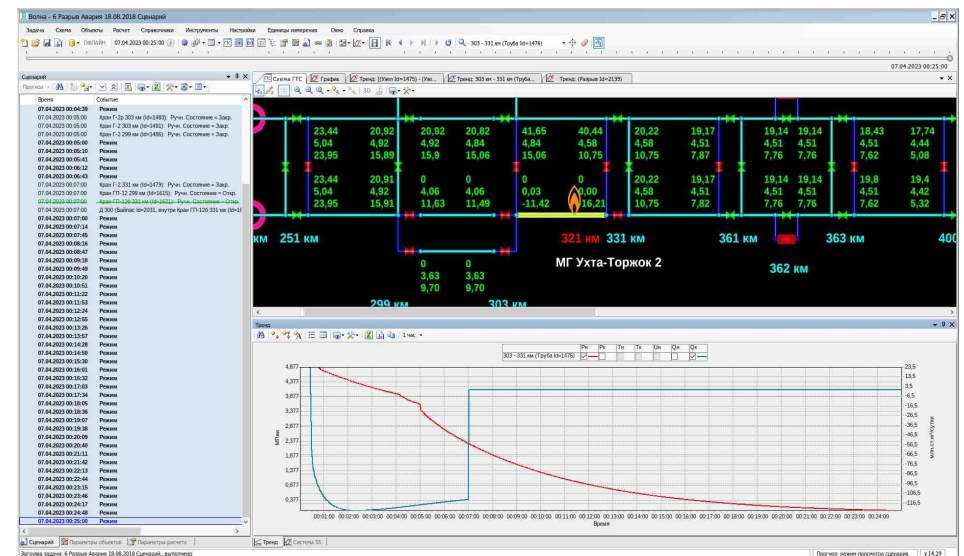
Для решения задач диспетчерского управления в комплексе реализованы следующие варианты расчётов:

- Расчёт текущего режима ГТС в реальном времени (онлайн);
- Прогноз процесса по заданному сценарию управляющих воздействий;
- Расчёт стационарного режима ГТС;
- Расчёт оптимального режима ГТС.

Первые два варианта расчётов выполняются в нестационарной постановке. Оптимизация осуществляется для стационарного режима.



Онлайн-расчёт режима ГТС



Расчёт потерь газа при разрыве газопровода

## Дополнительные возможности

В состав комплекса «Волна» входит набор дополнительных методик:

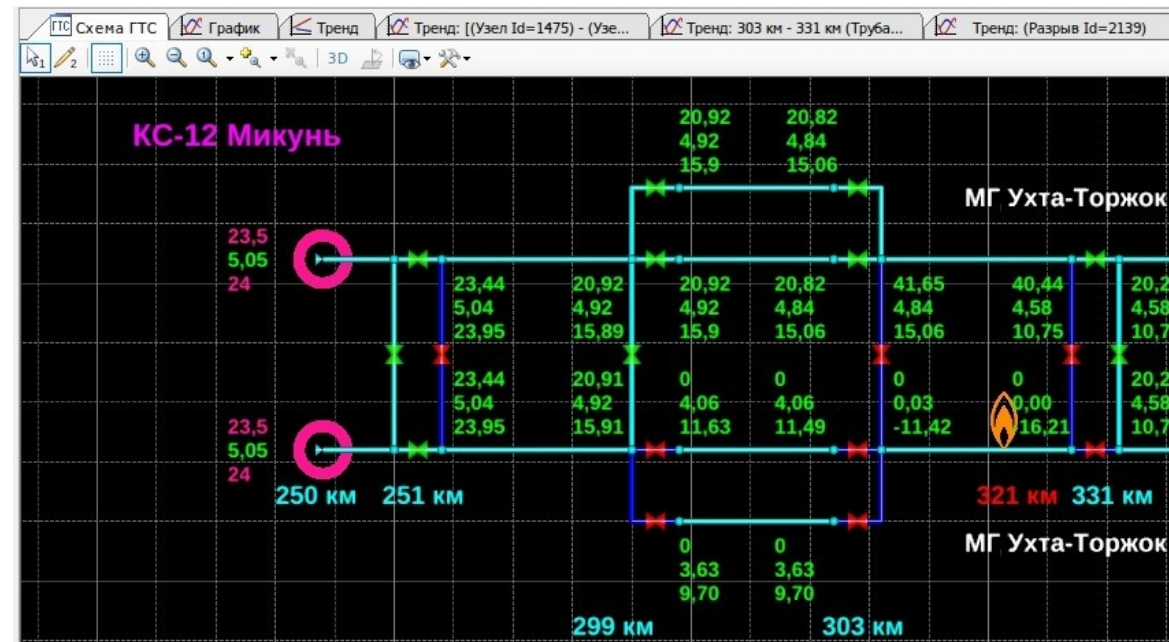
- методика расчёта потерь газа при аварийном разрыве газопровода с учётом управляющих воздействий диспетчера по локализации аварии;
- методика оценки последствий аварийных ситуаций, связанных с разрывом газопровода, позволяющая выполнять расчёты размеров опасных зон по различным поражающим факторам с отображением на карте местности;
- методика расчёта движения очистных и диагностических снарядов по газопроводу, учитывающая характеристики снаряда, рельеф местности вдоль трассы, изменение режима течения газа за счёт управляющих воздействий диспетчера;
- методика оптимизации режимов функционирования ГТС по критерию минимума потребления топливного газа с учётом существующих технологических ограничений (оптимизация выполняется на заданную производительность или на максимальную пропускную способность).

В комплексе «Волна» реализованы системы мониторинга:

- показателей энергетической эффективности режимов работы объектов ГТС в части затрат топливно-энергетических ресурсов на компримирование;
- выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферу при работе газоперекачивающих агрегатов.

Системы мониторинга обеспечивают выполнение следующих функций:

- расчёт энергетических и экологических показателей на основе результатов моделирования текущего режима работы ГТС;
- сохранение расчётных показателей в режиме онлайн;
- обработка данных за отчётные периоды и расчёт валовых значений показателей;
- формирование отчётов по текущим и валовым показателям.





## Программная реализация и архитектура

Комплекс «Волна» имеет модульную клиент-серверную архитектуру. Он создан на языке программирования С#. Комплекс функционирует на операционных системах Linux и Windows. Комплекс обладает наглядным настраиваемым пользовательским интерфейсом, средствами информационного обмена с внешними системами и поддержкой параллельных вычислений на многопроцессорных ЭВМ.

Комплектность, конфигурация и вариант развертыва-

ния комплекса определяются способом его применения, типом решаемых задач и особенностями информационной среды заказчика. Установка комплекса может быть выполнена как в распределённом клиент-серверном варианте, так и локально на ЭВМ пользователя.

В состав комплекса «Волна» входят следующие программные пакеты:

- «Волна-Клиент»;
- «Волна-Управление»;
- «Волна-Сервер».

«Волна-Клиент» устанавливается на АРМ пользователей и включает приложения «Волна-Клиент» и «Волна-Редактор».

«Волна-Управление» устанавливается на АРМ администратора и включает в себя средства управления серверами ПВК Волна.

«Волна-Сервер» устанавливается на серверах предприятия и включает следующие компоненты:

- сервер управления;
- сервер архива;
- сервер расчёта;
- сервер фактических данных;
- сервер публикации.

```

1  Program AsmInPas;
2  Var x,y,s:Integer;
3
4  Function Sum1(x,y:Integer):Integer;
5  begin
6      Sum1:=x+y;
7  end;
8
9  Function Sum2(x,y:Integer):Integer;
10 begin
11     asm mov ax,x; add ax,y; end
12 end;
```

```

13
14 Function Sum3(var x,y:Integer):Integer;
15 begin
16     asm les bx,x; mov ax,es:[bx]; les bx,y add ax,es:[bx]; end
17 end;
18
19 Function Sum4(x,y:Integer):Integer;
20 Assembler;
21 asm mov ax,x; add ax,y end;
22
23 Begin
24     x:=1; y:=2;
```

## Системные требования

### Для АРМ пользователя:

- разрядность x64;
- CPU Intel Core i7-11700;
- ОЗУ 8 Гб;
- графический процессор Intel HD Graphics;
- 100 Гб дискового пространства для личного архива;
- LAN Gigabit Ethernet.

Использование многопроцессорных ЭВМ позволяет повысить производительность расчётов благодаря параллельным вычислениям.



### Для сервера:

- разрядность x64;
- CPU Intel Xeon Gold 6242R;
- ОЗУ 32 Гб;
- графический процессор Intel HD Graphics;
- 500 Гб дискового пространства и выше для онлайн архива, в зависимости от размера ГТС;
- LAN Gigabit Ethernet.

### Операционные системы:

- Astra Linux;
- ALT Linux;
- РЕД ОС;
- Windows.





## Взаимодействие с внешними системами

Комплекс «Волна» взаимодействует со следующими программными продуктами:

- пакеты SCADA по протоколам OPC DA, OPC UA в онлайн расчёте для получения текущих фактических параметров ГТС и публикации расчётных параметров;
- пакеты Microsoft Office , LibreOffice и др. для построения отчётных форм в виде электронных таблиц в формате *xlsx*.

Варианты установки комплекса, перечень внешних программных продуктов, их версии, протоколы взаимодействия, структуры передаваемых данных определяются в рамках конкретного решения по интеграции комплекса в информационную среду заказчика.

## Варианты поставки комплекса

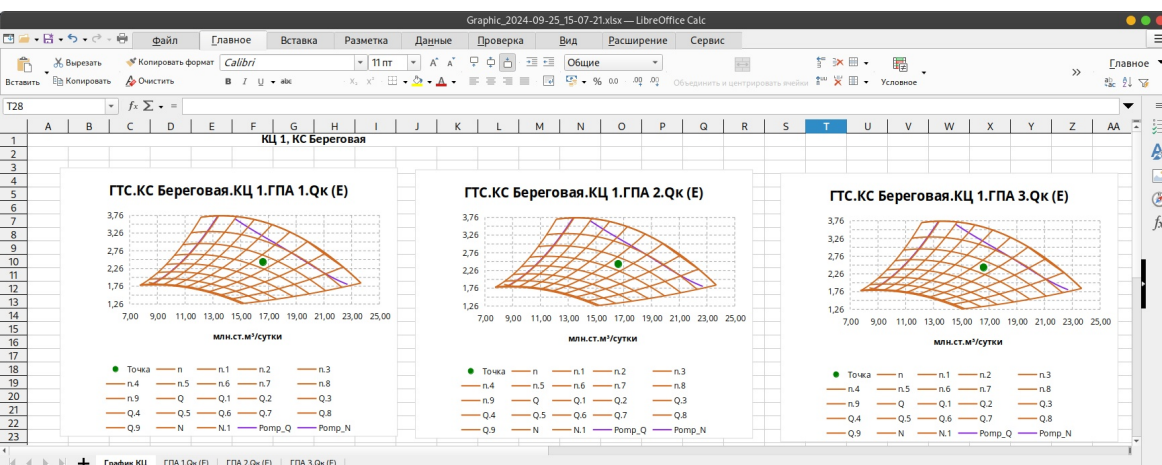
Комплекс «Волна-Демо» находится в свободном доступе для ознакомления с его возможностями.

Комплекс используется на локальном компьютере для просмотра и анализа прилагаемых демонстрационных задач без возможности выполнения новых расчётов.

Комплекс «Волна-Инженер» предназначен для инженерных расчётов в области эксплуатации и проектирования ГТС, анализа нестационарных процессов при внесении в систему управляющих воздействий, планирования и

оптимизации режимов транспорта газа.

Комплекс «Волна-Инженер» содержит пакеты «Волна-Клиент» и «Волна-Редактор» для локальной работы с расчётными схемами и задачами при ручном вводе исходных данных, выполнения расчётов и анализа полученных результатов. Выполнение онлайн-расчётов в данном варианте поставки не поддерживается. Однако могут использоваться задачи с реальным режимом транспортировки, созданные в комплексе «Волна-Диспетчер».



Комплекс «Волна-Диспетчер» предназначен для использования в газотранспортном обществе в качестве системы поддержки принятия диспетчерских решений.

Комплекс «Волна-Диспетчер» применяется для расчёта и контроля текущих параметров ГТС в режиме реального времени, планирования, прогнозирования и оптимизации режимов транспортировки газа, а также для выполнения инженерных расчётов.

Комплекс «Волна-Диспетчер» устанавливается в локальной сети предприятия и интегрируется со SCADA-системой для получения текущих фактических параметров, необходимых при выполнении онлайн расчёта в реальном времени.

На АРМ пользователя устанавливаются пакеты «Волна-Клиент» и «Волна-Редактор».

На АРМ администратора дополнительно устанавливается пакет «Волна-Управление».

На сервер устанавливается пакет «Волна-Сервер» включающий:

- сервер управления;
- сервер расчёта;
- сервер архива;
- сервер фактических данных.

Функциональный состав комплекса в зависимости от варианта поставки приведён в таблице.

Таблица. Функциональный состав. Варианты поставки

| Программный модуль                       | Волна-демо | Волна-инженер | Волна-диспетчер |
|------------------------------------------|------------|---------------|-----------------|
| <b>Волна-Редактор</b>                    | Нет        | Да            | Да              |
| <b>Волна-Клиент</b>                      | Да         | Да            | Да              |
| Стационарный расчет                      | Нет        | Да            | Да              |
| Нестационарный расчет                    | Нет        | Да            | Да              |
| Расчет режимов КС                        | Нет        | Да            | Да              |
| Онлайн расчет                            | Нет        | Нет           | Да              |
| Прогнозный расчет                        | Нет        | Да            | Да              |
| Оптимальный расчет                       | Нет        | Да            | Да              |
| Расчет движения снаряда                  | Нет        | Да            | Да              |
| Расчет разрыва газопровода               | Нет        | Да            | Да              |
| Расчет последствий аварии с разрывом     | Нет        | Опция         | Опция           |
| Отчет по показателям энергоэффективности | Нет        | Нет           | Опция           |
| Отчет о выбросах вредных веществ         | Нет        | Нет           | Опция           |
| <b>Волна-Управление</b>                  | Нет        | Нет           | Да              |
| <b>Волна-Сервер</b>                      | Нет        | Нет           | Да              |
| Сервер управления                        | Нет        | Нет           | Да              |
| Сервер архива                            | Нет        | Нет           | Да              |
| Сервер прокси архива                     | Нет        | Нет           | Да              |
| Сервер фактических данных                | Нет        | Нет           | Да              |
| Сервер публикации                        | Нет        | Нет           | Да              |
| Сервер расчета                           | Нет        | Нет           | Да              |

## Функционирование комплекса «Волна-диспетчер»

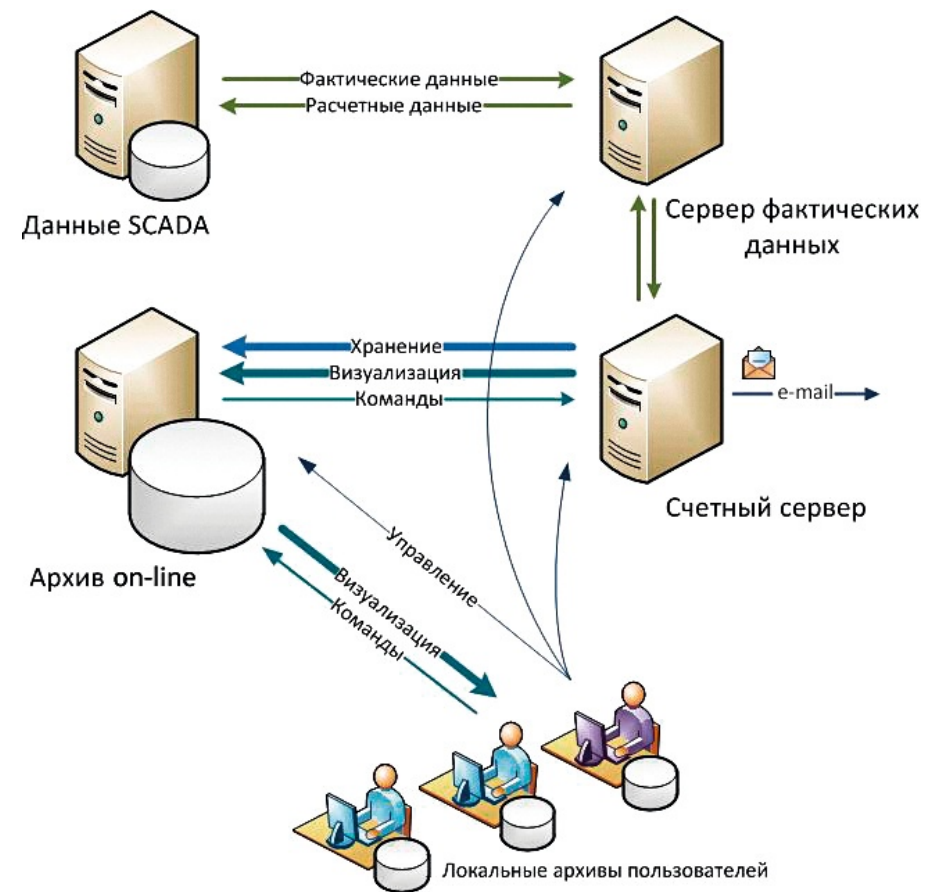
Функциональная схема комплекса «Волна-Диспетчер» показана на рисунке.

Сервер фактических данных периодически запрашивает у SCADA-системы значения изменившихся параметров процесса и передаёт их счётному серверу. Счётный сервер выполняет расчёт в масштабе реального времени и сохраняет полученные результаты в онлайн-архив. Часть расчётных параметров может быть передана от счётного сервера обратно в SCADA-систему для визуализации на АРМ диспетчера.

Активная онлайн-задача может быть открыта пользователями для мониторинга и внесения управляющих воздействий.

Расчётный режим может передаваться по электронной почте во внешнюю организацию для удалённого мониторинга.

Расчётный онлайн-режим может быть использован в качестве начального для выполнения локальных расчётов на АРМ пользователя.



Функциональная схема комплекса



## Правообладатели

Программный комплекс «Волна» защищен Свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014610581 от 15 января 2014 г.

Правообладателями комплекса «Волна» являются:

- Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский Федеральный Ядерный Центр Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина» (ФГУП «РФЯЦ ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»).
- Общество с ограниченной ответственностью «Газпром трансгаз Ухта» (ООО «Газпром трансгаз Ухта»).

## Контакты

**Анучин Михаил Геннадьевич**

+7 (35146) 5-60-77

m.g.anuchin@volna-plus.com

**Кузнецов Алексей Николаевич**

+7 (35146) 5-69-96

a.n.kuznetsov@volna-plus.com



[vniitf.ru](http://vniitf.ru)