

**Экспериментальное
программное обеспечение управления АПК для технологии квантовых
вычислений на основе
ионов**

v 1.1

Руководство пользователя ПО

2022 г

Оглавление

Введение	2
Сценарий использования	3
Пользовательские сценарии работы с системой:	4
Список сокращений	5
Описание данных	6
Требования к входным данным	6
Описание выходных данных	6
Интерпретация выходных данных	6
Описание реализации доступа к системе	7
Решение задачи на универсальном вычислителе	8
Входные данные	8
Выходные данные	11
Примеры запросов	11
Решение задачи на адиабатическом вычислителе	14
Входные данные	14
Выходные данные	14
Пример запроса	15
Просмотр информационных материалов	17
Просмотр Дашборда	17
Просмотр Справки	17
Просмотр Условий использования	17
Редактирование информации профиля	17
Техническая поддержка	18



лиц

Введение

Настоящий документ, руководство пользователя системы, предназначен для пользователей системы и содержит описание способов взаимодействия посредством веб-интерфейса с экспериментальным программным обеспечением (ПО) управления АПК для технологии квантовых вычислений на основе ионов, разработанного в рамках деятельности Лидирующего исследовательского центра «Квантовые вычисления» (далее - Система). ПО распространяется в виде интернет-сервиса, специальные действия по установке ПО на стороне пользователя не требуются.

Требования к пользователям системы

- Наличие практических навыков работы с операционными системами и веб-сервисами;
- Общее понимание концепции работы квантовых компьютеров;
- Общее понимание целей и задач, для которых планируется использовать систему и, в частности, квантовый компьютер на основе ионов;
- Наличие практических навыков реализации квантовых алгоритмов на адиабатических и универсальных квантовых вычислителях.

Знание языков:

- Русский – обязательно;
- Английский язык – опционально.

Сценарий использования

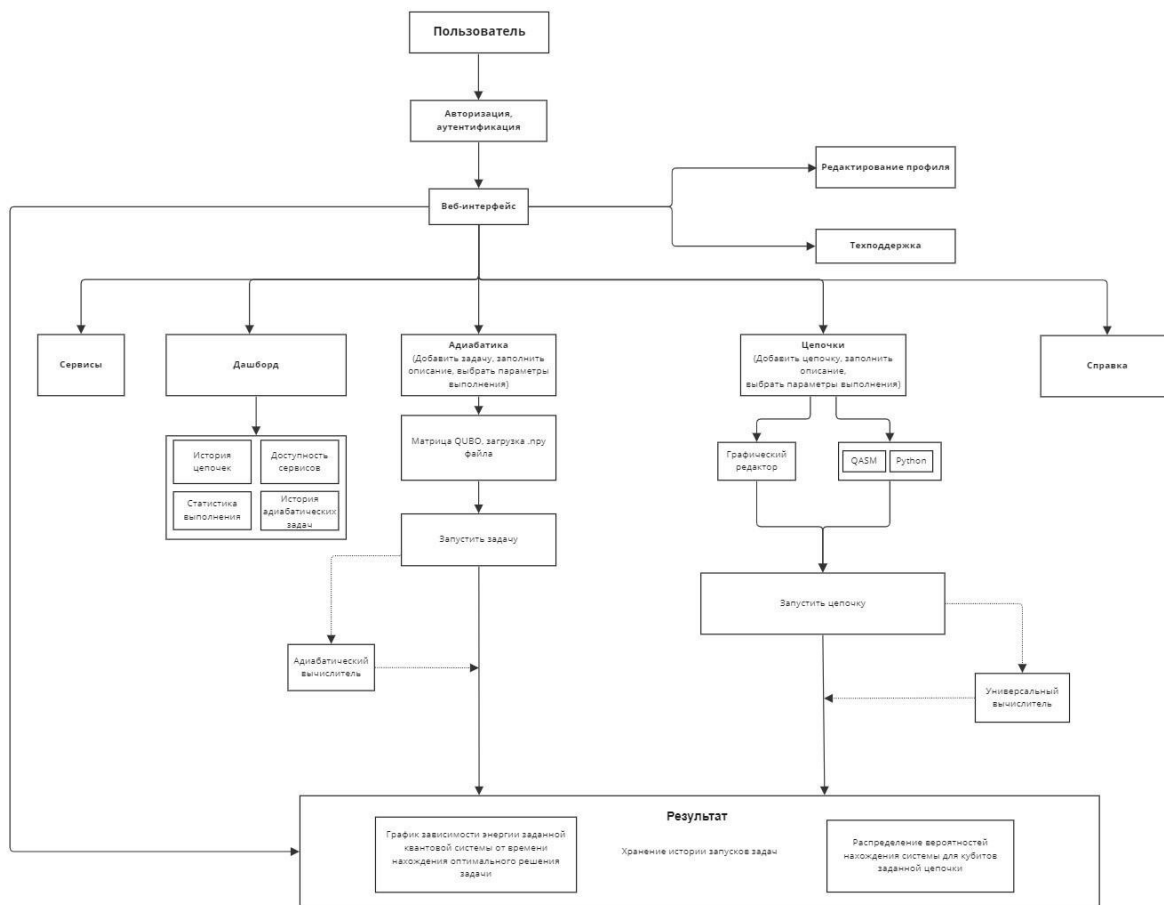
В системе реализован веб-интерфейс для взаимодействия на высоком уровне, что позволяет отправить задачу непосредственно на квантовый вычислительный модуль.

Предполагаемый сценарий использования в общем виде:

- 1) При помощи веб-интерфейса системы пользователь может осуществить запуск цепочки/задачи на универсальном/адиабатическом вычислителе;
- 2) Система взаимодействует с доступными квантовым вычислителями;
- 3) Результат реализации цепочки/задачи на квантовом вычислителе возвращается пользователю также с использованием функционала веб-интерфейса;

Система предусматривает обязательную аутентификацию пользователей и ведёт историю обращений с фиксацией входных и выходных данных.

Пользовательские сценарии работы с системой:





лиц

**КВАНТОВЫЕ
ВЫЧИСЛЕНИЯ**

Список сокращений

QUBO – Quadratic Unconstrained Binary Optimization или квадратичная бинарная оптимизация без ограничений.

SWAP – двухкубитная операция, меняющая местами состояния двух кубитов, участвующих в операции.

АПК – аппаратно-программный комплекс.

ИКВ – ионный квантовый вычислитель.

ОПКВ – облачная платформа квантовых вычислений.

Описание данных

Требования к входным данным

Параметры квантовой схемы для реализации пользовательского алгоритма могут быть заданы в следующих форматах:

- матрица Quadratic Unconstrained Binary Optimization или квадратичной бинарной оптимизации без ограничений (далее – матрица QUBO), в случае с использованием адиабатического бэкенда.
Матрица QUBO – это отображение исходной оптимизационной задачи на модель Изинга или так называемой задачи квадратичной безусловной двоичной оптимизации, задается в формате .пру файла. Загрузка файла реализуется с использованием веб-интерфейса ОПКВ;
- последовательность вентильных операций, в случае с использованием универсального квантового бэкенда (количество инициализируемых кубитов, последовательность выполнения однокубитных, двухкубитных и мультикубитных операций с ними, а также финальных измерений или аналогичный формат, задающий информацию, необходимую для запуска алгоритма).
Последовательность вентильных операций может быть задана с использованием графического или текстового редактора веб-интерфейса ОПКВ в виде визуального набора гейтов или OpenQASM, программного кода на языке программирования Python.

Описание выходных данных

Каждый результат реализации алгоритмов отображается на отдельной странице.

Для каждой запущенной задачи приводится следующая информация:

- Наименование задачи;
- Статус запуска;
- Сервис, на котором был реализован запуск;
- Лог выполнения задачи.

На странице результатов также отображается график распределения полученных результатов запуска.

Интерпретация выходных данных

Система может реализовать запуск задач на доступных квантовых вычислителях и получить результаты на основании любого набора гейтов или загруженной .пру-матрицы, поэтому интерпретация результатов может быть некорректна.



лиц

**КВАНТОВЫЕ
ВЫЧИСЛЕНИЯ**

Описание реализации доступа к системе

Для взаимодействия с ПО с помощью веб-интерфейса зарегистрированный пользователь должен пройти аутентификацию на соответствующей веб-странице платформы.

ПО распространяется в виде интернет-сервиса, специальные действия по установке ПО на стороне пользователя не требуются

Решение задачи на универсальном вычислителе

Для решения задачи на универсальном вычислителе авторизованный пользователь должен зайти на соответствующую страницу «Цепочки» системы.

Для загрузки квантового представления входной задачи в ОПКВ можно использовать вентильный конструктор или текстовый редактор веб-интерфейса.

Входные данные

Входными данными задачи является количество инициализируемых кубитов и последовательность выполнения однокубитных, двухкубитных и мультикубитных операций с ними, а также финальных измерений или аналогичный формат, задающий информацию, необходимую для запуска алгоритма

При использовании графического редактора (вкладка «Редактор») входные данные определяются согласно описанию ниже (Рис.1).

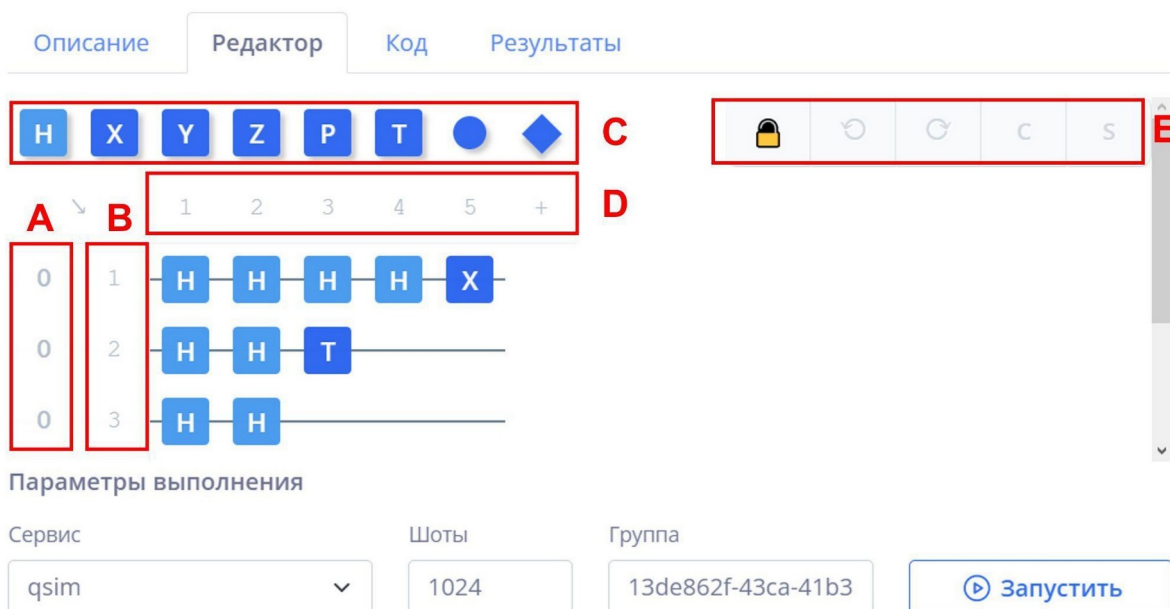


Рисунок 1. Внешний вид вкладки «Редактор» страницы «Цепочки»








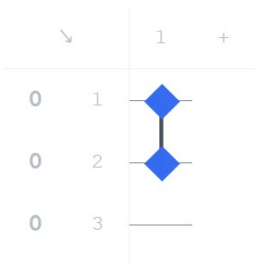
На Рисунке 1 красными рамочками отмечены основные блоки редактора, а именно:

- начальное состояние инициализируемых кубитов – панель А;
- количество инициализируемых кубитов – панель В;
- перечень вентилях – панель С, расшифровка из матричного представления приведена в Таблице 1;
- порядок выполнения однокубитных, двухкубитных и мультикубитных операций с ними, а также финальных измерений – панель D;
- задание двухкубитных, мультикубитных контролируемых гейтов, а также гейта SWAP – панель E.



лиц

Таблица 1. Перечень вентилей, приведенных в панели С на Рисунке 1

Графическое изображение	Вентиль	Матричное представление
	Вентиль Адамара, H	$\frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$
	Вентиль Паули X	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$
	Вентиль Паули Y	$\begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix}$
	Вентиль Паули Z	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$
	Фазовый сдвиг, $R\phi$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{i\phi} \end{bmatrix}$
	$\pi/8$ -гейт, T-гейт	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{i\frac{\pi}{4}} \end{bmatrix}$
	I-гейт, единичная матрица	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$
	SWAP	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$



лиц

КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

При использовании текстового редактора (вкладка – “Код”), пользователь может задать квантовую схему, описав ее на основном языке сборки для квантовых компьютеров, который называется QASM. Структура программы имеет следующий вид:

Определение команды	Описание команды	Пример
Определение формата данных		
OPENQASM 2.0;	Обозначает, что файл задается в формате Open QASM версии 2.0	OPENQASM 2.0;
include "filename";	Подключение внешнего источника данных. Файл qelib1.inc содержит описание квантовых гейтов, используется при написании квантовых алгоритмов в OpenQASM	include "qelib1.inc";
Инициализация необходимого количества кубитов и битов		
qreg name[size];	Определение квантового регистра кубитов	qreg q[5];
creg name[size];	Определение классического регистра битов	creg c[5];
Описание квантовой схемы		
gatename qargs;	Определение однокубитных гейтов	h q[0];
CX qubit[qreg,qubit[qreg];	Определение двухкубитных гейтов CNOT	CX q[0],q[1];

После описания требуемой квантовой схемы с использованием текстового или графического редактора, необходимо перейти на вкладку “Описание” и нажать кнопку “Сохранить” для сохранения заданной квантовой схемы.

После сохранения квантовой схемы для реализации ее запуска на доступном сервисе, необходимо выполнить следующий порядок действий:

- выбрать доступный сервис в блоке “Сервис”
- задать количество запусков в блоке “Шоты”
- отправить квантовую схему на выбранный сервис, нажав кнопку “Запустить”

Выходные данные

Как было описано выше результаты каждой запущенной задачи содержат:

- Наименование задачи



лиц

КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

- Статус запуска
- Название сервиса, на котором был реализован запуск
- Лог выполнения задачи
- График распределения результатов запуска

✓ Результат `ec9be3c8-7c49-470e-9bc0-a4a783ce3e98` выполнена

Цепочка: [New circuit 2](#)

Сервис: [qsim](#)

Шоты: 1024

Лог выполнения

```
[2022-10-14T07:04:43.721688] PENDING  
[2022-10-14T07:04:45.196032] COMPLETED
```

Результат



Рисунок 2. Пример результатов запуска цепочки. Страница “Результаты”.

В случае решения задачи на универсальном вычислителе результатом будет распределение вероятностей нахождения системы в том или ином состоянии, возможном для заданного числа кубитов.

Примеры запросов

1. Реализация пользовательского алгоритма

1.1 H-H-H circuit

Для реализации пользовательского алгоритма необходимо выполнить следующую последовательность действий:

- Нажимаем “Добавить цепочку”;
- Открываем “Описание”, меняем название “demo-hhh-circuit”;
- Заходим в графический “Редактор”, на каждый из трех кубитов в регистре переносим H гейт;
- переходим во вкладку “Описание”, нажимаем кнопку “Сохранить”;
- выбираем доступный сервис: qiskit, iqc;
- определяем количество шотов – 1024;
- нажимаем “Запустить”.

Ниже приведен пример входных и выходных данных для данной цепочки.



ЛИЦ

КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Входные данные	Выходные данные																		
<p>demo-hhh-circuit выполнена</p> <p>Описание Редактор Код Результаты</p> <p>Н Х Y Z P T ● ◆</p> <p>1</p> <p>0 1 Н</p> <p>0 2 Н</p> <p>0 3 Н</p>	<p>Результат 6561aa08-66cb-4b2e-a61f-121854679588 выполнена</p> <p>Цена: demo-hhh-circuit</p> <p>Сервис: qiskit</p> <p>Шоты: 1024</p> <p>Лог выполнения</p> <pre>[2023-01-17T10:50:50.739081] PENDING [2023-01-17T10:50:50.839794] Запущена задача [2023-01-17T10:50:51.043419] Получены результаты (010 000: 123, 100 000: 137, 111 000: 114, 000 000: 136, 011 000: 108, 101 000: 123, 110 000: 143, 001 000: 119) [2023-01-17T10:50:51.063066] COMPLETED</pre> <p>Результат</p> <p>Измерение вероятностей</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Битовая строка</th> <th>Вероятность (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>010 000</td><td>123</td></tr> <tr><td>100 000</td><td>137</td></tr> <tr><td>111 000</td><td>114</td></tr> <tr><td>000 000</td><td>136</td></tr> <tr><td>011 000</td><td>108</td></tr> <tr><td>101 000</td><td>123</td></tr> <tr><td>110 000</td><td>143</td></tr> <tr><td>001 000</td><td>119</td></tr> </tbody> </table>	Битовая строка	Вероятность (%)	010 000	123	100 000	137	111 000	114	000 000	136	011 000	108	101 000	123	110 000	143	001 000	119
Битовая строка	Вероятность (%)																		
010 000	123																		
100 000	137																		
111 000	114																		
000 000	136																		
011 000	108																		
101 000	123																		
110 000	143																		
001 000	119																		

2 Описание реализации готовых квантовых алгоритмов Гровера и Бернштейна-Вазирана

2.1 Алгоритм Гровера

- Нажимаем “Добавить цепочку”
- Открываем “Описание”, меняем название “demo-Grover”
- Заходим в текстовый “Редактор”, добавляем описание квантовой схемы в формате OpenQASM.
- переходим во вкладку “Описание”, нажимаем кнопку “Сохранить”
- выбираем сервис qiskit
- устанавливаем количество шотов – 1000

Ниже приведён текст входных данных и результат выполнения для данной цепочки.

Входные данные	Выходные данные						
<pre>OPENQASM 2.0; include "qelib1.inc"; qreg q[2]; creg c[2]; h q[0]; h q[1]; h q[1]; cx q[0],q[1]; h q[1]; h q[0]; h q[1]; z q[0]; z q[1]; h q[1]; cx q[0],q[1]; h q[1]; h q[0]; h q[1];</pre>	<p>Измерение вероятностей</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Битовая строка</th> <th>Вероятность (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>01</td><td>~900</td></tr> <tr><td>11</td><td>~100</td></tr> </tbody> </table>	Битовая строка	Вероятность (%)	01	~900	11	~100
Битовая строка	Вероятность (%)						
01	~900						
11	~100						




ЛИЦ

```
measure q[0] -> c[0];
measure q[1] -> c[1];
```

2.2 Алгоритм Бернштейна Вазирани

- Нажимаем “Добавить цепочку”;
- Открываем “Описание”, меняем название “demo-Bernstein-Vazirani”;
- Заходим в текстовый “Редактор”, добавляем описание квантовой схемы в формате OpenQASM;
- переходим во вкладку “Описание”, нажимаем кнопку “Сохранить”;
- выбираем сервис qiskit;
- оставляем количество шотов – 1024.

Ниже приведён текст входных данных и результат выполнения для данной цепочки.

Входные данные	Выходные данные
<pre>OPENQASM 2.0; include "qelib1.inc"; qreg q[4]; creg c[3]; h q[3]; z q[3]; h q[0]; h q[1]; h q[2]; barrier q[0],q[1],q[2],q[3]; cx q[0],q[3]; cx q[1],q[3]; id q[2]; barrier q[0],q[1],q[2],q[3]; h q[0]; h q[1]; h q[2]; measure q[0] -> c[0]; measure q[1] -> c[1]; measure q[2] -> c[2];</pre>	 <p>Измерение вероятностей</p> <p>011</p>

Решение задачи на адиабатическом вычислителе



лиц

КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Для решения задачи на адиабатическом вычислителе авторизованный пользователь должен зайти на соответствующую страницу “Адиабатика” системы.

С использованием разработанного функционала веб-интерфейса можно реализовать загрузку квантового представления входной задачи в ОПКВ в виде файла формата .пру.

Метод адиабатического приготовления состояний (Adiabatic state preparation, ASP) является одним из наиболее эффективных известных на данный момент методов инициализации квантовых регистров. Принцип проведения квантовых вычислений с помощью адиабатической эволюции состояния – AdQC (Adiabatic quantum computing), подробно изложен в работе [Farhi E. et al. Quantum computation by adiabatic evolution //arXiv preprint quant-ph/0001106. – 2000]. Решение задачи на адиабатическом вычислителе заключается в минимизации полученной QUBO-матрицы, получении значений спинов и минимальной энергии системы и сравнения их с эталонными значениями.

Входные данные

Матрица QUBO - отображение исходной оптимизационной задачи на модель Изинга или так называемой задачи квадратичной безусловной двоичной оптимизации, задается в формате пру-файла. Входная матрица должна быть симметричной относительно главного диагонали.

Выходные данные

Для каждой запущенной задачи приводится следующая информация:

- Наименование задачи;
- Статус запуска;
- Сервис, на котором был реализован запуск;
- Лог выполнения задачи;
- График распределения полученных результатов запуска.

✓ Результат 5534ade8-b5b8-4bd0-8b1a-160abb5775ac выполнена

Задача [Random 15 x 15 matrix](#)

Сервис: [bf](#)

Лог выполнения

```
[2022-10-14T07:04:49.834421] PENDING  
[2022-10-14T07:04:51.728379] Solver bf  
started  
[2022-10-14T07:04:51.884463] Found solution  
0.000000
```

Результат

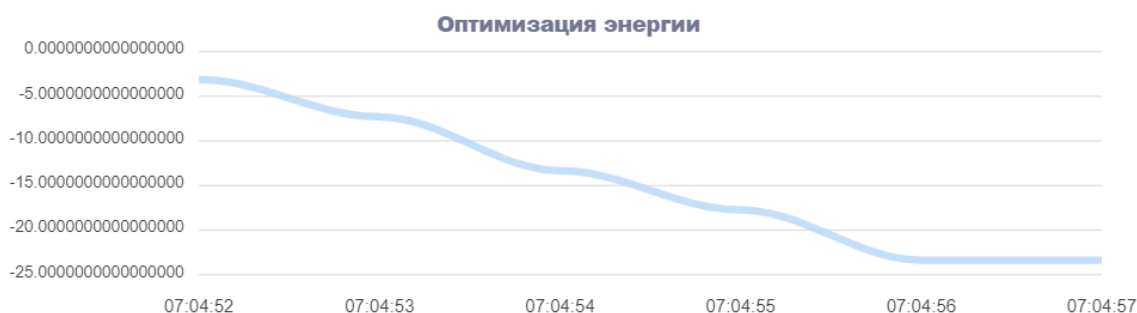


Рисунок 3. Пример результата решения задачи на адиабатическом вычислителе.

В случае решения задачи на адиабатическом вычислителе результатом будет график зависимости энергии заданной квантовой системы от времени нахождения оптимального решения на выбранном квантовом вычислителе (рис.3).

Пример запроса

- Нажимаем “Добавить задачу”;
- Открываем “Описание”, меняем название “demo-bf”;
- загружаем матрицу в формате .npz;
[test_bf.npz](#)
- нажимаем кнопку “Сохранить”;
- выбираем доступный сервис: bf;
- нажимаем “Запустить”.

После выполнения заданной тестовой матрицы, во вкладке “Результаты” должны получить график оптимизации энергии (рис.4).

✓ Результат ce15f508-ef7f-4f92-a55c-0e888df6c97d **выполнена**

Задача: Test_bf
Сервис: bf

Лог выполнения

```
[2022-11-08T13:01:13.678775] PENDING  
[2022-11-08T13:01:15.391473] Solver bf started  
[2022-11-08T13:01:15.516856] Found solution 0.000000  
[2022-11-08T13:01:15.750652] Found solution -2.000000  
[2022-11-08T13:01:15.987520] Found solution -3.000000
```

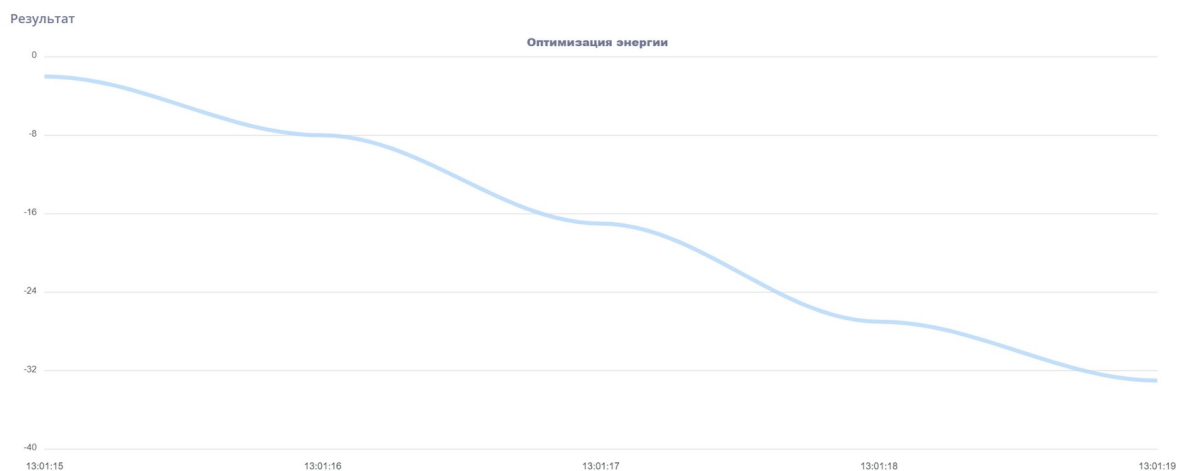


Рисунок 4. График оптимизации энергии решения задачи на адиабатическом вычислителе.

Просмотр информационных материалов

Просмотр Дашборда

Для просмотра информации о текущем состоянии Системы авторизованный пользователь должен зайти на страницу “**Дашборд**” системы.

Данный раздел содержит сводную информацию:

- статистика запуска квантовых алгоритмов на универсальных квантовых вычислителях;
- статистика запуска квантовых алгоритмов на специализированных квантовых вычислителях;
- анализ доступности сервисов;
- статистика реализованных запусков квантовых алгоритмов.

Просмотр Справки

Чтобы посмотреть Справку системы, нажмите ссылку страницы “Справка”.

Просмотр Условий использования

Чтобы посмотреть Условия использования системы, внизу окна веб-интерфейса системы нажмите ссылки пользовательских соглашений:

- Пользовательское соглашение;
- Соглашение о конфиденциальности.

Редактирование информации профиля

Чтобы перейти в профиль пользователя системы:

1. Откройте меню аккаунта в правом верхнем углу окна системы
2. Нажмите на кнопку “Профиль”
3. На вкладке профиля возможно:
 - редактировать данные профиля;
 - изменить пароль для входа в систему;
 - посмотреть персональную статистику результатов запуска квантовых цепочек и адиабатических задач.

Техническая поддержка

Техническая поддержка пользователей осуществляется в формате консультирования пользователей по вопросам эксплуатации программного обеспечения по электронным каналам связи (форма обратной связи). В рамках технической поддержки сервиса оказываются следующие услуги:

- Помощь в поиске и устранении проблем в случае некорректной работы программного обеспечения;
- Описание функционала программного обеспечения, помощь в эксплуатации;
- Предоставление актуальной документации по установке/настройке/работе программного обеспечения.

В заявке на техническую поддержку пользователь должен указать следующую информацию:

- Описание проблемы;
- Предпринятые попытки решения проблемы;
- Логин или почта, прикрепленная к аккаунту на платформе;
- Любая релевантная дополнительная информация.

После доставки ответа пользователю запрос считается завершенным, и находится в статусе «Завершен, требует подтверждения пользователя». В случае аргументированного несогласия пользователя с завершением запроса выполнение запроса продолжается. Завершенный запрос переходит в состояние закрытого после получения подтверждения от пользователя о решении запроса.

В случае отсутствия ответа пользователя о завершении запроса в течение 14 рабочих дней, в случае если иное не оговорено в соглашении о расширенной технической поддержке, запрос считается закрытым. Закрытие запроса может инициировать пользователь, если надобность в ответе на запрос по каким-либо причинам более не требуется.