

Инструкция по эксплуатации программного комплекса USPARS

1. Комплект поставки ПК USPARS

ПК USPARS поставляется в архиве **USPARS-{v}.zip**, где {v} – версия ПК USPARS. Поставка для Linux содержит:

- Release_Notes.txt – информация о текущем релизе
- README_linux.txt – краткая инструкция по установке и сборке примеров
- docs/USPARS_руководство_пользователя.pdf – руководство пользователя
- **uspars-linux-{os}.tar.gz**, где {os} – название и версия операционной системы. Этот архив содержит собранные библиотеки и исходные коды примеров. Подробнее о его содержимом:
 - uspars/headers/ – директория, содержащая заголовочный файл ПК USPARS
 - uspars/kernels/ – директория, содержащая вспомогательные математические библиотеки
 - uspars/examples/ – директория, содержащая исходные коды основных примеров
 - uspars/examples_full/ – директория, содержащая исходные коды всех примеров
 - uspars/libs/ – директория, содержащая основные библиотеки ПК USPARS

2. Основные функции для решения СЛАУ в ПК USPARS

Для использования ПК USPARS в пользовательском коде необходимо выполнить следующие шаги:

1. С помощью директивы `#include` включить заголовочный файл `<uspars.h>` в пользовательский исходный код, который будет вызывать функции ПК USPARS.
2. Инициализировать матрицу коэффициентов СЛАУ.
3. Инициализировать вектор правой части.
4. В соответствии с алгоритмом решения последовательно вызывать следующие функции:
 - a) `uspars_alloc` - для создания USP-структуры¹;
 - b) `uspars_init` - для подготовки к факторизации матрицы коэффициентов;
 - c) `uspars_fact` - для вычисления треугольных факторизаций разреженных матриц;
 - d) `uspars_solve` - для решения СЛАУ с факторизованной матрицей коэффициентов;.
 - e) `uspars_destroy` – для освобождения памяти USP-структуры, выделенной на всех предыдущих фазах.

Каждая функция в данной последовательности подготавливает входные данные для следующей функции и возвращает код (*код возврата*) Для контроля корректности работы нужно проверить,

¹ USP структура нужна для хранения входных и всех промежуточных данных, используемых на разных фазах.

что код возврата каждой функции равен нулю. В случае ненулевого кода возврата см. разделы 2 и 3 в полном «Руководстве пользователя».

3. Сборка и запуск примеров СЛАУ

Папка «examples» архива поставки проверочного образца содержит [исходные коды](#) примеров, позволяющих производить подсчёты с использованием ПК USPARS.

Для того, чтобы собрать и запустить все или какой-то выборочный пример, необходимо:

1. Перейти в папку с примерами:

```
$ cd uspars/examples
```

2. Выбрать компилятор

Пример:

```
$ export CC=icc
```

3. Для сборки всех примеров сразу можно воспользоваться скриптом

```
$ bash make_examples.sh
```

Для сборки конкретного примера воспользуйтесь командой

```
$ make SOURCE=test_name
```

где test_name - название теста, без расширения .c, например:

```
$ make SOURCE=example_LU_d
```

4. Запуск всех примеров:

```
$ bash run_examples.sh
```

Вывод будет записан в папку log. Результаты для сравнения представлены в папке log_reference

4. Примеры СЛАУ для выполнения расчетов

Папка «examples» архива поставки содержит 7 примеров для матриц СЛАУ разных типов. В таблице ниже они приведены в соответствие пяти типам матриц из раздела 5 документа «Функционал USPARS» и номерам подразделов, в которых они описаны в «Руководстве Пользователя».

N. (Номер из User Guide) Название	Тип матрицы согласно разделу 5 документа «Функционал USPARS»	Название файла
4.1. (A.4) Вещественная симметричная положительно-определенная матрица коэффициентов с двойной точностью	1) Вещественные симметричные положительно-определенные матрицы.	example_LLH_d.c
4.2. (A.6) Комплексная эрмитова положительно-определенная матрица коэффициентов с двойной точностью	2) Комплексные эрмитовы положительно-определенные матрицы.	example_LLH_z.c
4.3. (A.8) Вещественная симметричная матрица коэффициентов с двойной точностью	3) Вещественные и комплексные симметричные матрицы.	example_LDLH_d.c

4.4. (A.11) Комплексная симметричная матрица коэффициентов с двойной точностью	3) Вещественные и комплексные симметричные матрицы.	example_LDLT_z.c.
4.5 (A13) Комплексная эрмитова матрица коэффициентов с двойной точностью	4) Комплексные эрмитовы матрицы.	example_LDLH_z.c.
4.6 (A.15) Вещественная матрица коэффициентов с двойной точностью	5) Матрицы общего вида.	example_LU_d.c
4.7 (A.18) Вещественная симметричная положительно-определенная матрица коэффициентов с одинарной точностью, две правые части	1) Вещественные симметричные положительно-определенные матрицы.	example2rhs_LLH_s.c

Ниже приводится подробное описание каждого примера. После запуска примеров выдача результатов содержит 2 столбца – точное решение и приближенное решение, вычисленное ПК USPARS. В результатах под e+XX и e-XX понимается 10^{XX} и 10^{-XX} соответственно. Например, $9.999999e-01 = 0.9999999$. Отличия между точным и приближенным решением обусловлены машинной точностью.

При запуске примеров могут получаться значения, немного отличающиеся от значений во вторых столбцах выдачах примеров. Причина этого в том, что при вычислениях с плавающей точкой имеются округления.

4.1 (A.4) Вещественная симметричная положительно-определенная матрица коэффициентов с двойной точностью

Система уравнений

$$\begin{pmatrix} 4 & 0 & -2 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 5 & 0 & -3 & -2 & 0 \\ -2 & 0 & 4 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & -3 & 0 & 5 & 0 & 2 \\ 0 & -2 & 0 & 0 & 3.96 & -2 \\ 2 & 0 & 3 & 2 & -2 & 8.16 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ 0 \\ 5 \\ 4 \\ -0.04 \\ 13.16 \end{bmatrix}$$

Исходный код примера см в файле example_LLH_d.c. Ниже приведена выдача этого примера:

```
The system was successfully solved.
Exact solution                               Numerical solution
1.0000000000000000e+00                       1.0000000000038496e+00
1.0000000000000000e+00                       1.0000000000002858e+00
1.0000000000000000e+00                       1.0000000000043996e+00
1.0000000000000000e+00                       1.0000000000014913e+00
1.0000000000000000e+00                       9.999999999847777e-01
1.0000000000000000e+00                       9.999999999670042e-01
```

4.2 (A.6) Комплексная эрмитова положительно-определенная матрица коэффициентов с двойной точностью

Система уравнений

$$\begin{pmatrix} 2 & 0 & 0.51i & 0 & 0 & 0 & 0.74 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0.8 & 0 & 0 \\ -0.51i & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & -0.3i \\ 0 & 0.8 & 0 & 0 & 1 & 0.6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.6 & 2 & 1 + 0.8i \\ 0.74 & 0 & 0 & 0.3i & 0 & 1 - 0.8i & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 5.65 + 8.71i \\ 6 + 2i \\ 3.51 + 2.49i \\ 10.1 - 10.1i \\ 10.2 - 0.2i \\ 16.4 + 3.6i \\ 17.14 + 5.14i \end{pmatrix}$$

Исходный код примера см в файле `example_LLH_z.c`. Ниже приведена выдача этого примера:

```
The system was successfully solved.
Exact solution
1.0000000000000000e+00 + 1.0000000000000000e+00*i
1.0000000000010525e+00*i
2.0000000000000000e+00 + -2.0000000000000000e+00*i
2.0000000000028564e+00*i
3.0000000000000000e+00 + 3.0000000000000000e+00*i
2.999999999987477e+00*i
4.0000000000000000e+00 + -4.0000000000000000e+00*i
3.99999999991331e+00*i
5.0000000000000000e+00 + 5.0000000000000000e+00*i
5.0000000000035705e+00*i
6.0000000000000000e+00 + -6.0000000000000000e+00*i
6.0000000000021423e+00*i
7.0000000000000000e+00 + 7.0000000000000000e+00*i
6.999999999975264e+00*i
Numerical solution
9.999999999754519e-01 +
-
1.999999999896669e+00 +
-
2.99999999994627e+00 +
-
4.00000000003704e+00 +
-
5.000000000129159e+00 +
-
5.99999999922489e+00 +
-
7.000000000057723e+00 +
```

4.3 (A.8) Вещественная симметричная матрица коэффициентов с двойной точностью

Система уравнений

$$\begin{pmatrix} 4 & 0 & -2 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 3.26 & 0 & -3 & -2 & 0 \\ -2 & 0 & 1.00001 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -3 & 0 & 4 & 0 & 2 \\ 0 & -2 & 0 & 0 & 4 & -2 \\ 2 & 0 & 1 & 2 & -2 & 8 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ -2.26 \\ -1.99999 \\ -3 \\ 8 \\ -9 \end{pmatrix}$$

Исходный код примера см в файле `example_LDLH_d.c`. Ниже приведена выдача этого примера:

```
The system was successfully solved.
Exact solution
1.0000000000000000e+00
-1.0000000000000000e+00
1.0000000000000000e+00
-1.0000000000000000e+00
1.0000000000000000e+00
-1.0000000000000000e+00
Numerical solution
1.0000000000291038e+00
-9.99999999998579e-01
1.0000000000582077e+00
-9.99999999998923e-01
1.0000000000000071e+00
-1.0000000000000002e+00
```

4.4 (A.11) Комплексная симметричная матрица коэффициентов с двойной точностью

Система уравнений

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 5i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 8 & 0 & 0 \\ 5i & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.001 & 0 & 0 & -3i \\ 0 & 8 & 0 & 0 & 2 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 1 & 1 + i \\ 0 & 0 & 0 & -3i & 0 & 1 + i & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 + 15i \\ 44 \\ 9 + 5i \\ 0.004 - 21i \\ 26.6 \\ 13.5 + 7i \\ -1 - 6i \end{pmatrix}$$

Исходный код примера см в файле `example_LDLT_z.c`. Ниже приведена выдача этого примера:

The system was successfully solved.

Exact solution		Numerical
1.0000000000000000e+00 + 0.0000000000000000e+00*i		1.0000000000000000e+00 + 1.9032394707859828e-16*i
2.0000000000000000e+00 + 0.0000000000000000e+00*i		2.0000000000000000e+00 + 2.8931319859074138e-18*i
3.0000000000000000e+00 + 0.0000000000000000e+00*i		3.0000000000000004e+00 + 2.2204460492503131e-16*i
4.0000000000000000e+00 + 0.0000000000000000e+00*i		4.0000000000000000e+00 + 0.0000000000000000e+00*i
5.0000000000000000e+00 + 0.0000000000000000e+00*i		5.0000000000000000e+00 + -7.2328299647685346e-19*i
6.0000000000000000e+00 + 0.0000000000000000e+00*i		6.0000000000000000e+00 + -2.1698489894305601e-16*i
7.0000000000000000e+00 + 0.0000000000000000e+00*i		7.0000000000000000e+00 + 0.0000000000000000e+00*i

4.5 (A.13) Комплексная эрмитова матрица коэффициентов с двойной точностью

Система уравнений

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 5i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 8 & 0 & 0 \\ -5i & 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.001 & 0 & 0 & -3i \\ 0 & 8 & 0 & 0 & 2 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 1 & 1+i \\ 0 & 0 & 0 & 3i & 0 & 1-i & -1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+15i \\ 44 \\ 9+5i \\ 0.004-21i \\ 26.6 \\ 13.5+7i \\ -1-6i \end{bmatrix}$$

Исходный код примера см в файле `example_LDLH_z.c`. Ниже приведена выдача этого примера:

The system was successfully solved.

Exact solution		Numerical
1.0000000000000000e+00+0.0000000000000000e+00*i		1.0000000000000000e+00 -2.4223047810003419e-16*i
2.0000000000000000e+00+0.0000000000000000e+00*i		2.0000000000000000e+00 +1.1835803775002936e-17*i
3.0000000000000000e+00+0.0000000000000000e+00*i		3.0000000000000004e+00 -2.2204460492503131e-16*i
4.0000000000000000e+00+0.0000000000000000e+00*i		4.0000000000000000e+00 +0.0000000000000000e+00*i
5.0000000000000000e+00+0.0000000000000000e+00*i		5.0000000000000000e+00 -2.9589509437507341e-18*i
6.0000000000000000e+00+0.0000000000000000e+00*i		6.0000000000000000e+00 -8.8768528312522019e-16*i
7.0000000000000000e+00+0.0000000000000000e+00*i		7.0000000000000000e+00 -1.0842021724855044e-19*i

4.6 (A.15) Вещественная матрица коэффициентов с двойной точностью

Система уравнений

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 105 & 0 & 0 & 0 & 107 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 18 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 111 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -103 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 212 \\ 17 \\ 113 \\ -105 \\ 0 \\ 1 \\ -3 \end{bmatrix}$$

Исходный код примера см в файле `example_LU_d.c`. Ниже приведена выдача этого примера:

The system was successfully solved.

Exact solution	Numerical solution
1.0000000000000000e+00	1.00000000000000637e+00
-1.0000000000000000e+00	-9.999999999999045e-01
1.0000000000000000e+00	1.0000000000000000e+00
-1.0000000000000000e+00	-1.0000000000000004e+00
1.0000000000000000e+00	9.999999999999944e-01
-1.0000000000000000e+00	-9.99999999999956e-01
1.0000000000000000e+00	1.0000000000000000e+00

4.7 (A.18) Вещественная симметричная положительно-определенная матрица коэффициентов с одинарной точностью, две правые части

Система уравнений

$$\begin{matrix} & & & & & & \text{ООО НЦИТ «УНИПРО»} \\ \left(\begin{array}{cccccc} 4 & 0 & -2 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 5 & 0 & -3 & -2 & 0 \\ -2 & 0 & 4 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & -3 & 0 & 5 & 0 & 2 \\ 0 & -2 & 0 & 0 & 3.96 & -2 \\ 2 & 0 & 3 & 2 & -2 & 8.16 \end{array} \right) & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} \\ x_{21} & x_{22} \\ x_{31} & x_{32} \\ x_{41} & x_{42} \\ x_{51} & x_{52} \\ x_{61} & x_{62} \end{bmatrix} & = & \begin{bmatrix} 4 & 0 \\ 0 & -4 \\ 5 & -1 \\ 4 & -4 \\ -0.04 & 7.96 \\ 13.16 & -7.16 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Исходный код примера см в файле `example2rhs_LLH_s.c`. Ниже приведена выдача этого примера:

```
The system was successfully solved.
Exact solution      Numerical solution
```

```
rhs 0:
```

```
1.0000000e+00      9.9828684e-01
1.0000000e+00      9.9987251e-01
1.0000000e+00      9.9804211e-01
1.0000000e+00      9.9933606e-01
1.0000000e+00      1.0006772e+00
1.0000000e+00      1.0014684e+00
```

```
rhs 1:
```

```
1.0000000e+00      1.0017132e+00
-1.0000000e+00     -9.9987239e-01
1.0000000e+00      1.0019579e+00
-1.0000000e+00     -9.9933606e-01
1.0000000e+00      9.9932289e-01
-1.0000000e+00     -1.0014684e+00
```

Заключение

В этом документе представлен запуск ПК USPARS на простейших примерах с параметрами, выставленными по умолчанию. Подробнее про все параметры и их возможные значения смотрите полное «Руководство Пользователя».

Полный комплект всех примеров находится в папке `examples_full`.