

Поиск равновесия

Блок “Поиск равновесия” предназначен для поиска равновесия системы уравнений вида

$$Y_{k+1} = F(Y_k, X),$$

где Y_i – вектор переменных связи на i -й итерации, то есть переменных, которые связывают уравнения (функции), X – вектор входов блока (стационарные параметры). Для переменных связи задаются начальные значения. Равновесие считается найденным, если за заданное максимальное число итераций в процессе расчета изменение всех переменных связи некоторое число итераций будет в пределах заданной погрешности.

В качестве примера для иллюстрации схемы вычисления рассмотрим следующие функции:

$$x = f_1(x, y, z, a, b)$$

$$y = f_2(x, y, z, a, b)$$

$$z = f_3(x, y, z, a, b)$$

Для них x , y и z – переменные связи, a и b – стационарные параметры функций, которые заданы на соответствующих входах блока. Зададим начальные значения переменных связи – x_0 , y_0 , z_0 , максимальное число итераций n . Блок “Поиск равновесия” будет производить следующие вычисления:

- на первой итерации

$$x_1 = f_1(x_0, y_0, z_0, a, b)$$

$$y_1 = f_2(x_0, y_0, z_0, a, b)$$

$$z_1 = f_3(x_0, y_0, z_0, a, b)$$

- на второй итерации

$$x_2 = f_1(x_1, y_1, z_1, a, b)$$

$$y_2 = f_2(x_1, y_1, z_1, a, b)$$

$$z_2 = f_3(x_1, y_1, z_1, a, b)$$

- и т.д.

Равновесие может быть найдено на некоторой итерации $m \leq n$, со следующими значениями переменных связи:

$$x_m = f_1(x_{m-1}, y_{m-1}, z_{m-1}, a, b) \sim x_{m-1}$$

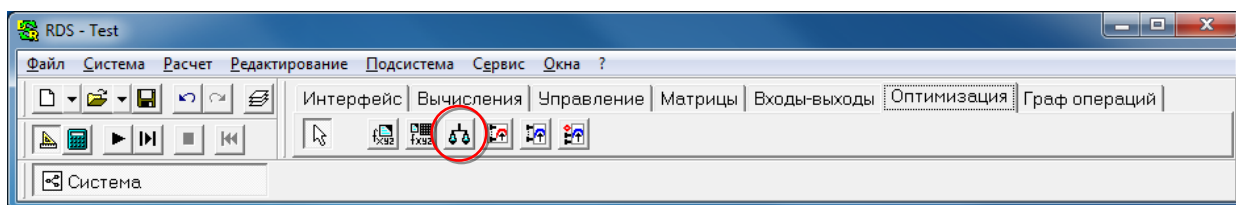
$$y_m = f_2(x_{m-1}, y_{m-1}, z_{m-1}, a, b) \sim y_{m-1}$$

$$z_m = f_3(x_{m-1}, y_{m-1}, z_{m-1}, a, b) \sim z_{m-1}$$

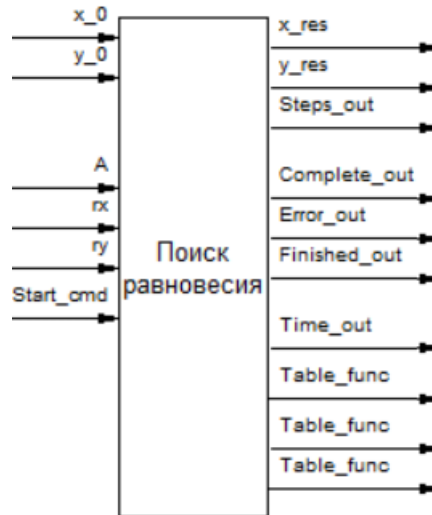
На выходах блока могут формироваться табличные функции, показывающие, как сходились значения переменных связи. В качестве аргумента выходных табличных функций выступает номер итерации, в качестве значений – одно или несколько значений переменных связи.

Размещение на панели блоков:

Вкладка “Оптимизация”:



Внешний вид в схеме:



Входы:

Aux_in (short) – вход для подключения “фиктивных” стрелок.

Start_cmd (сигнал) – сигнал начала вычисления. Используется в случае, если в настройках включено “Начинать поиск только по команде (сигнал *Start_cmd*)”. Игнорируется, если входные параметры не изменились или если вычисление уже идет.

Restart_cmd (сигнал) – принудительный перезапуск процедуры вычисления (даже если входные параметры и результат вычисления не изменились).

Enabled_in – (массив логический) – массив логических значений, разрешающих работу блока (если массив не пустой, блок будет работать, только если все элементы массива равны единице, при пустом массиве блок работает всегда).

Func_in (массив double) – входной массив приема функций по связи. В связи с тем, что блок содержит несколько функций, для передачи каждой из них их используются отдельный элемент массива. Индекс элемента массива будет соответствовать индексу этой функции в блоке (отображается на вкладке “Функция” главного окна настроек блока).

<имя> (<зависит от типа соответствующего аргумента функции>) – произвольное число входов, соответствующих стационарным параметрам вычисляемых функций. Таблица соответствия типов стационарных параметров и типов входов блока приведена в описании настроек блока.

<имя_св>_0 (double) – входы для начальных значений переменных *<имя_св>*, связывающих функции.

Выходы:

Aux_out (short) – выход для подключения “фиктивных” стрелок.

Complete_out (логический) – логический выход, описывающий состояние блока: 0 – идет процедура вычисления, 1 – процедура вычисления закончена.

Error_out (логический) – выход ошибки процедуры вычисления. Показывает наличие или отсутствие ошибок при вычислении. Значение “1” – при вычислении произошла ошибка (равновесие не достигнуто), значение “0” – ошибок не возникло.

Finished_out (сигнал) – сигнальный выход успешного завершения процедуры вычисления.

Started_out (сигнал) – сигнал начала процедуры вычисления.

Time_out (double) – общее время работы процедуры вычисления в секундах.

Func_out (массив) – выходной массив для передачи функций по связи.

Iteration_out (int) – номер текущей итерации.

Steps_out (int) – число итераций, сделанных на момент завершения вычислений.

<имя_св>_res (double) - найденное значение равновесия переменной *<имя_св>*, связывающей функции.

<имя_св>_res_c (double) – текущее значение переменной связи *<имя_св>* (меняется в процессе вычисления).

<таблица>_func (матрица double) – матрица выходной табличной функции.

Настроечные параметры:

Вкладка “Функция” главного окна настроек блока

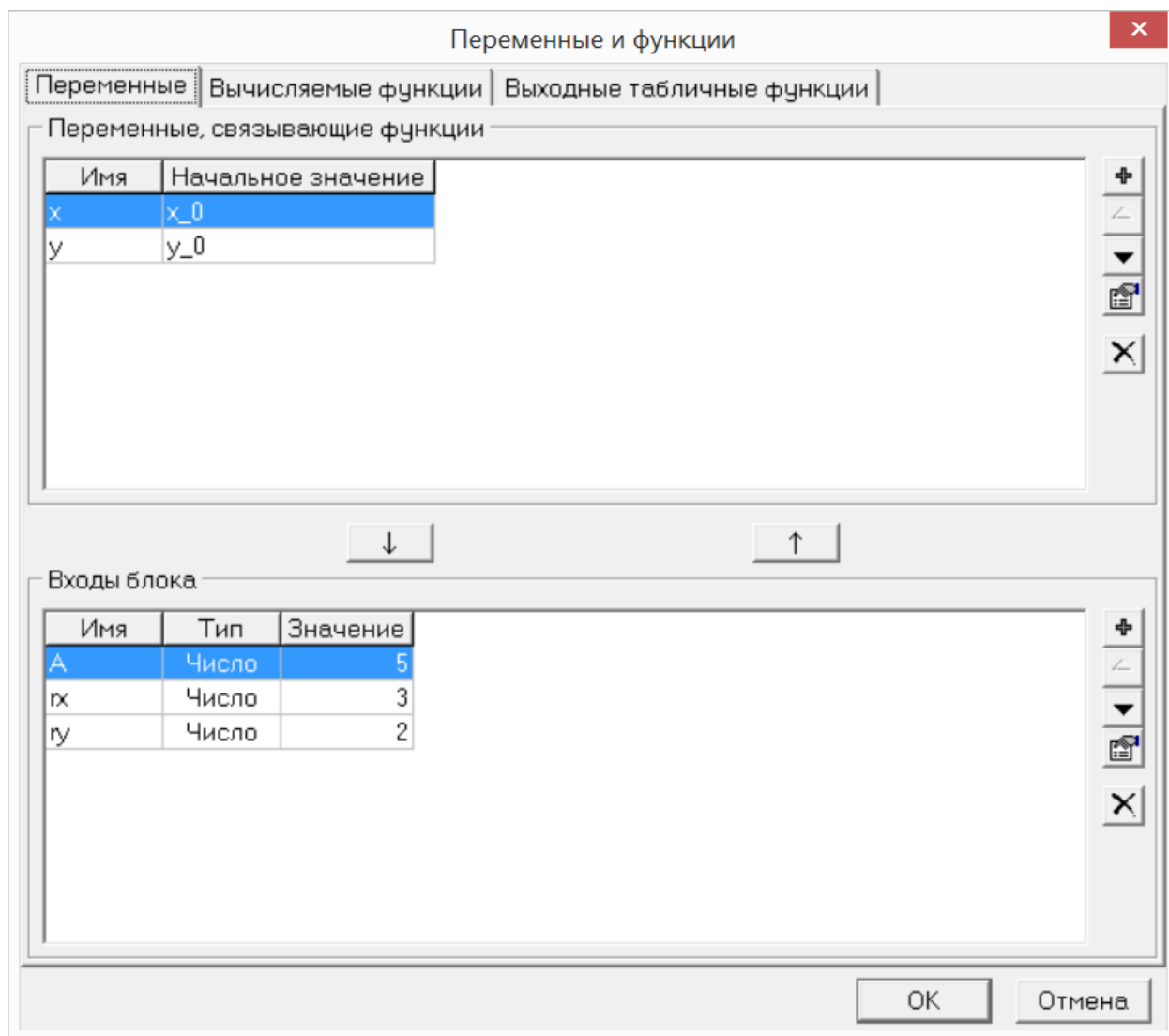
Вкладка предназначена для просмотра и перехода к редактированию функций блока.

The screenshot shows a dialog box titled "Поиск равновесия" (Search for equilibrium) with a close button (X) in the top right corner. The dialog has four tabs: "Функции" (Functions), "Поиск" (Search), "Выходные таблицы" (Output tables), and "Дополнительно" (Advanced). The "Функции" tab is selected. Inside the tab, there is a text field labeled "Число функций в блоке:" (Number of functions in the block:) with the value "2" entered. Below this is a text area labeled "Функции (нажмите 'Изменить функции...' для редактирования):" (Functions (click 'Change functions...' for editing):) containing the text "[0]: x = BR1" and "[1]: y = BR2". Below the text area is another text area labeled "Переменные связи функций: x, y." (Functions connection variables: x, y.) and "Входы блока (стационарные параметры): A, gx, gy." (Block inputs (stationary parameters): A, gx, gy.). At the bottom of the dialog, there is a button labeled "Изменить функции и переменные блока" (Change functions and block variables). At the very bottom of the dialog, there are two buttons: "OK" and "Отмена" (Cancel).

На вкладке отображаются названия функций с их индексами и указанием вычисляемых ими переменными связи, список имен всех переменных связи и стационарных параметров. Также на ней расположена кнопка “Изменить функции и переменные блока” для перехода к окну редактирования “Переменные и функции”.

Вкладка “Переменные” окна редактирования “Переменные и функции”

Вкладка предназначена для описания переменных (как переменных связи, так стационарных параметров) функций.



Имена переменных могут содержать только заглавные и строчные буквы латинского алфавита (чувствительны к регистру) и цифры. Они могут начинаться только с буквы (за исключением последовательностей символов “rds” или “l57”).

Вкладка состоит из трех панелей:

- Панель (список) “Переменные, связывающие функции”. Включает таблицу переменных связи функций, и панель кнопок для работы с ней
 - Таблица переменных, связывающих функции. Содержит строки, каждая из которых соответствует переменной связи функций. Таблица состоит из следующих столбцов:
 - “Имя”. Столбец, в котором отображаются имена переменных связи функций.

- “Начально значение”. Столбец, в котором отображаются начальные значения переменных связи функций.
- Панель кнопок. Включает в себя кнопки для добавления, смены положения, редактирования и удаления строк таблицы переменных, связывающих функции. Если функция поступает на вход блока *Func_in*, то редактирование и удаление будет заблокировано
Добавление и редактирование строк таблицы (переменных, связывающих функции) осуществляется с помощью формы, изображенной ниже.
Для каждой переменной, связывающей функции, задаются начальные значения. Данные значения могут поступать с соответствующих входов блока. Для этого необходимо отметить поле флажком (при отметке необходимый вход будет создан автоматически). Эти значения имеют тип вещественное число (*double*).

- Панель кнопок (стрелок) для перемещения аргументов между списками. Перемещение аргумента из списка “Входы блока” в список “Переменные, связывающие функции” возможен только в случае, если его тип “Число”.
- Панель (список) “Входы блока”
 - Таблица “Входы блока”. Содержит строки, каждая из которых соответствует входу блока (стационарному параметру, который не является переменной связи). Таблица состоит из следующих столбцов:
 - “Имя”. Столбец, в котором отображаются имена аргументов функции и соответствующих им входов блока
 - “Тип”. Столбец, в котором отображаются типы аргументов функции
 - “Значение”. Столбец, в котором отображаются значения аргументов функции, которые будут использоваться при вычислениях, если к соответствующим им входам блока не будут подключены связи
 - Панель кнопок. Включает в себя кнопки для добавления, смены положения, редактирования и удаления строк таблицы “Входы блока”. Если функция поступает на вход блока *Func_in*, то редактирование и удаление будет заблокировано.
Добавление и редактирование строк таблицы (входов блока) осуществляется с помощью формы, изображенной ниже.

Такие аргументы могут быть различных типов. Таблица типов аргументов и соответствующих им типов входов блока приведена ниже.

Тип аргумента	Тип входа блока
Число	double
Матрица	матрица double
Массив	массив double
Табличная функция одной переменной	матрица double специального формата (формат приведен ниже)
Табличная функция двух переменных	матрица double специального формата (формат приведен ниже)

Если x – аргумент табличной функции одной переменной $F(x)$, то формат ее матрицы имеет следующий вид

	0	1	2	3
0	$x_1=x_{\min}$	$F_1(x_1)$	$F_2(x_1)$...
1	x_2	$F_1(x_2)$	$F_2(x_2)$...
...	...			
i	x_{i+1}	$F_1(x_{i+1})$	$F_2(x_{i+1})$...
...	...			
	x_{\max}	$F_1(x_{\max})$	$F_2(x_{\max})$...

В приведенной выше таблице может располагаться несколько функций с общим аргументом. По умолчанию берется значение функции из столбца с индексом 1.

Если x и y – первый и второй аргументы табличной функции двух переменных $F(x, y)$, то формат ее матрицы имеет следующий вид

	0	1	2	...	j	...	
0	?	$y_1=y_{\min}$	y_2		y_j		y_{\max}
1	$x_1=x_{\min}$	$F(x_1, y_1)$	$F(x_1, y_2)$		$F(x_1, y_j)$		$F(x_1, y_{\max})$
2	x_2	$F(x_2, y_1)$	$F(x_2, y_2)$		$F(x_2, y_j)$		$F(x_2, y_{\max})$
...							
i	x_i	$F(x_i, y_1)$	$F(x_i, y_2)$		$F(x_i, y_j)$		$F(x_i, y_{\max})$
...							
	x_{\max}	$F(x_{\max}, y_1)$	$F(x_{\max}, y_2)$		$F(x_{\max}, y_j)$		$F(x_{\max}, y_{\max})$

Ячейка матрицы $[0][0]$ не используется и содержит служебное значение, отображающееся в РДС как вопросительный знак.

Вкладка “Вычисляемая функция” окна редактирования “Переменные и функции”

Вкладка “Вычисляемая функция” предназначена для просмотра, добавления, редактирования и удаления описаний функций. Если функция поступает на вход блока *Func_in*, то редактирование будет заблокировано.

The screenshot shows a dialog box titled "Переменные и функции" (Variables and Functions) with a red close button in the top right corner. It has three tabs: "Переменные" (Variables), "Вычисляемые функции" (Calculable Functions), and "Выходные табличные функции" (Output Table Functions). The "Вычисляемые функции" tab is active. Inside this tab, there is a list of functions under the heading "Функции". The list contains two entries: "0: BR1 (переменная связи: x)" and "1: BR2 (переменная связи: y)". To the right of the list are four buttons: a plus sign (+), a left arrow (<), a right arrow (>), and a close button (X). Below the list is a section titled "Название, текст и вычисляемая переменная" (Name, text, and calculable variable). It contains three fields: "Название:" (Name) with the value "BR1", "Текст функции на языке C:" (Function text in C language) with the code `return (A-y) / (2+1.0/rx);`, and "Переменная-результат:" (Result variable) which is empty. At the bottom of this section is a dropdown menu for "Переменная связи:" (Link variable) with the value "x". At the very bottom of the dialog are "OK" and "Отмена" (Cancel) buttons.

На вкладке расположены две панели:

- Панель “Функции”. Содержит таблицу функций и панель кнопок для добавления, перемещения и удаления ее строк.
 - Таблица функций. В таблице отображаются индексы и названия функций (они разделены символом “:”, индексы начинаются с нуля), а также переменные связи, которые эти функции вычисляют.
 - Панель кнопок. Включает в себя кнопки для добавления, смены положения, редактирования и удаления строк таблицы функций. Если функция поступает на вход блока *Func_in*, то редактирование и удаление будет заблокировано.
- Панель “Название, текст и вычисляемая переменная”
 - “Название”. Поле для ввода названия функции. Заполнение не обязательно, используется для пояснения.
 - “Текст функции на языке C”. Поле для ввода текста функции в виде выражения или фрагмента программы на языке C (возможно использовать любые операторы C и стандартные функции математической библиотеки).

- “Переменная-результат”. Поле для ввода имени переменной, присваивание значения которой можно использовать для возврата функции (заполнение не обязательно).
- “Переменная связи”. Поле для выбора переменной связи. Выбор осуществляется из списка соответствующих переменных, введенного на вкладке “Переменные”.

В тексте функции можно использовать имена переменных, введенных на вкладке “Переменные”. Числовые переменные используются по имени: например $x + y$, $\lambda * 3 * z$.

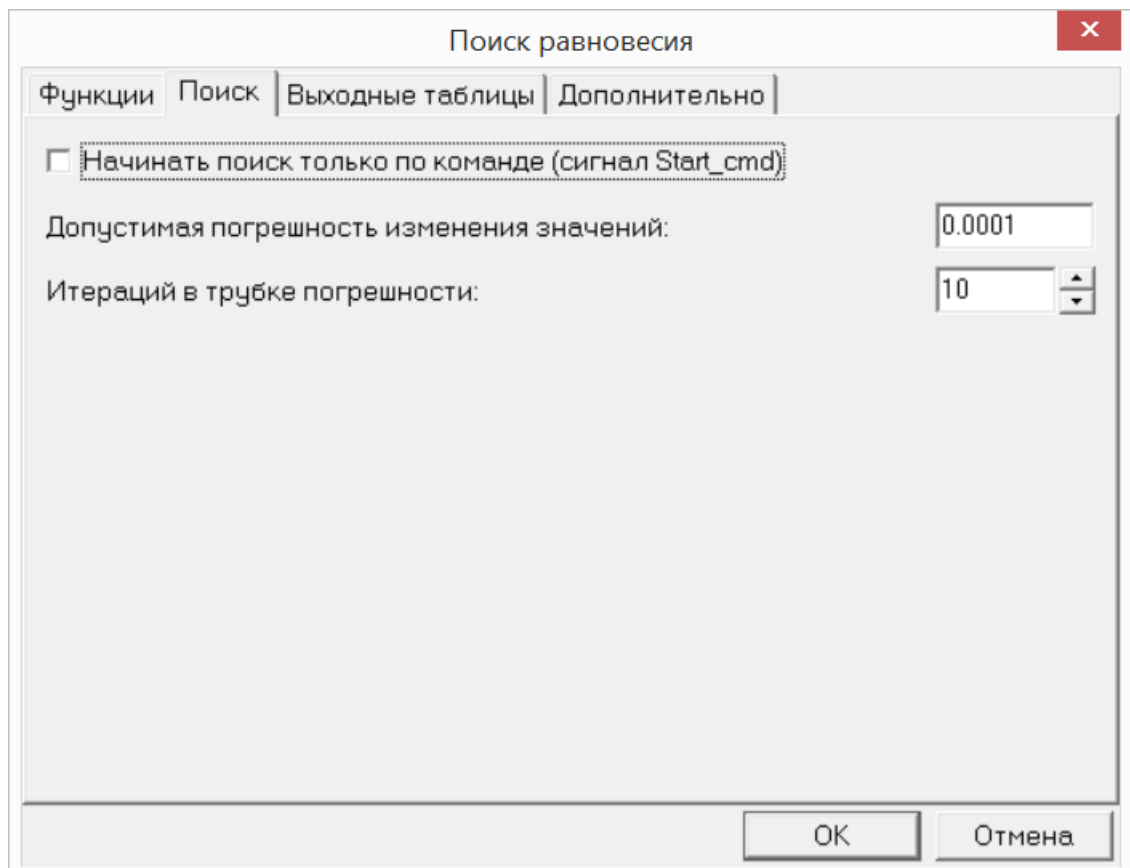
При вызове табличных функций (формат таблиц описан выше) используется обычный синтаксис С. Например, если F – имя входа табличной функции двух переменных, то можно записать $F(x,y)$. Если G – имя входа табличной функции одной переменной, то можно записать $G(x)$. Если таблица функции G имеет несколько столбцов значений (т. е. в таблице записано несколько функций одной и той же переменной), то можно записать $G(x,n)$, где n – номер столбца значения.

При обращении к элементам массивов и матриц также используется обычный синтаксис С. Например, элемент массива A – $A[n]$, элемент матрицы M – $M[\text{row}][\text{col}]$ (все индексы целые числа!). Для определения размера массива (A) используется функция $\text{Size}(A.\text{Size}())$. Для определения числа строк и столбцов матрицы используются функции Rows и Cols соответственно.

Результат функции – всегда вещественное число (*double*), которое возвращается либо оператором “*return*”, либо присваиванием переменной-результату, например, *return sin(x)* или $f = \sin(x)$ (если в качестве переменной-результата введена f).

Вкладка “Поиск” главного окна настроек блока

Вкладка предназначена для настройки поиска равновесия функций.

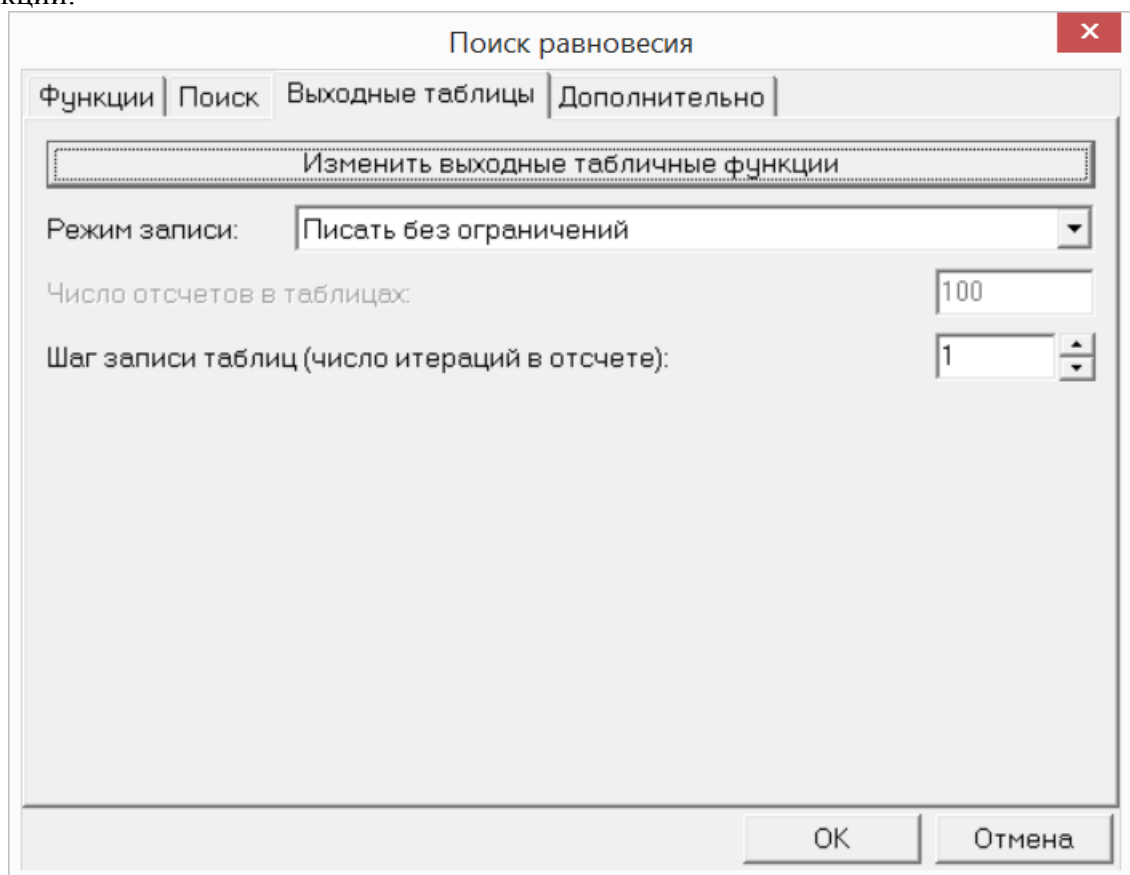


Она содержит следующие настройки:

- “Начинать поиск только по команде (сигнал *Start_cmd*)”. Если флажок активен, то перезапуск процедуры поиска равновесия будет осуществляться только при поступлении сигнала на вход “*Start_cmd*”. Изменение входов блока не приведет к автоматическому перезапуску поиска равновесия.
- “Допустимая погрешность изменений значений”. Поле ввода значения размера трубки, в которую должно войти изменение значения каждой переменной связи от итерации к итерации, чтобы равновесие считалось достигнутым.
- “Итераций в трубке погрешности”. Число последовательных итераций, в течение которых изменения значений всех переменных связи не должны выходить за заданную погрешность, чтобы равновесие считалось достигнутым.

Вкладка “Выходные таблицы” главного окна настроек блока

На вкладке “Выходные таблицы” задаются настройки выходных табличных функций.



- “Изменить выходные табличные функции”. Кнопка предназначена для вызова формы добавления, редактирования и удаления выходных табличных функций (описана ниже)
- “Режим записи”. Поле для выбора режима записи. Доступны четыре режима:
 - “Писать без ограничений”. Число строк матрицы выходной табличной функции постоянно увеличивается с ростом числа итераций.
 - “При заполнении выбрасывать каждый второй отсчет”. Задается число строк матрицы выходной табличной функции (поле ввода

“Число отсчетов в таблице” ниже). При заполнении всех строк матрицы каждая вторая строка выбрасывается. В результате этого остается заполненной только половина матрицы, и заполнение второй половины продолжается с вдвое большим шагом. Для матрицы, состоящей из 6 строк, процесс их заполнения приведен на рисунке ниже. Нумерация итераций на этом и последующих рисунках приведена для значения параметра “Шаг записи таблиц (число итераций в отсчете)” равного единице (описание параметра приведено ниже).

Итерация 1	→ Выполнена итерация 7	Итерация 1	→ В матрицу записаны данные итерации 7	Итерация 1	→ ... → Выполнена итерация 13	Итерация 1	и т.д.
Итерация 2		Итерация 2		Итерация 3		Итерация 3	
Итерация 3		Итерация 3		Итерация 5		Итерация 5	
Итерация 4		Итерация 4		Итерация 7		Итерация 7	
Итерация 5		Итерация 5				Итерация 9	
Итерация 6		Итерация 6				Итерация 11	

- “При заполнении прекратить запись”. Задается число строк матрицы выходной табличной функции (поле ввода “Число отсчетов в таблице” ниже). При заполнении всех строк матрицы запись новых данных прекращается, (но процесс поиска продолжается). Для матрицы, состоящей из 6 строк, процесс их заполнения приведен на рисунке ниже.

Итерация 1	→	Поиск продолжается, строки матрицы не изменяются
Итерация 2		
Итерация 3		
Итерация 4		
Итерация 5		
Итерация 6		

- “При заполнении стереть начало”. Задается число строк матрицы выходной табличной функции (поле ввода “Число отсчетов в таблице” ниже). При заполнении всех строк матрицы и переходе на очередную итерацию поиска первая строка выбрасывается из матрицы, и данные новой итерации добавляются последней строкой матрицы. Т.е. в матрице всегда хранится заданное число строк, соответствующих последним итерациям. Для матрицы, состоящей из 6 строк, процесс их заполнения приведен на рисунке ниже.

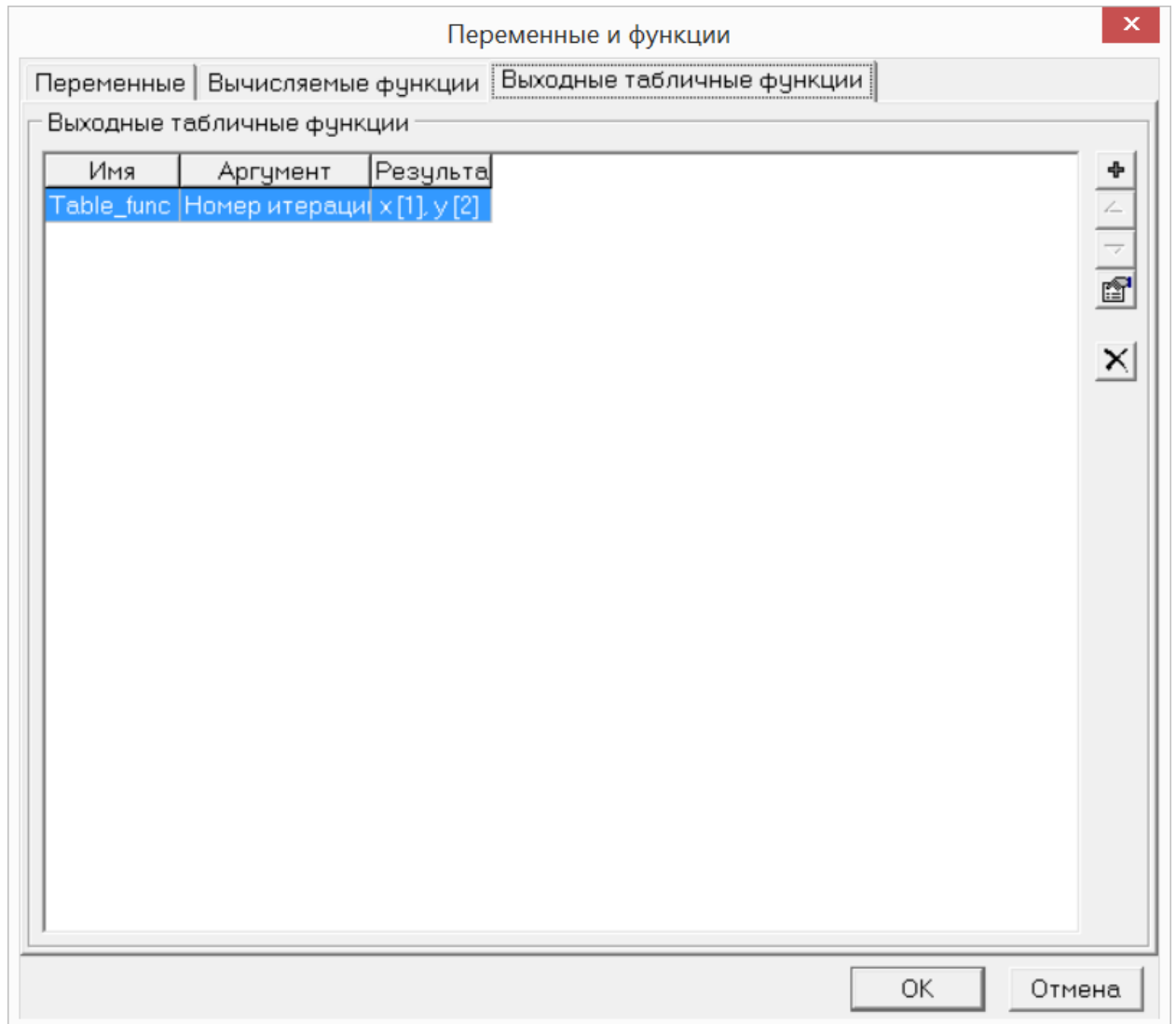
Итерация 1	→ Выполнена итерация 7	Итерация 1	→ В матрицу записаны данные итерации 7, выполнена итерация 8	Итерация 2	→ В матрицу записаны данные итерации 8, выполнена итерация 9	Итерация 3	и т.д.
Итерация 2		Итерация 2		Итерация 3		Итерация 4	
Итерация 3		Итерация 3		Итерация 4		Итерация 5	
Итерация 4		Итерация 4		Итерация 5		Итерация 6	
Итерация 5		Итерация 5		Итерация 6		Итерация 7	
Итерация 6		Итерация 6		Итерация 7		Итерация 8	

- “Число отсчетов в таблицах”. Поле для ввода числа строк матрицы выходной табличной функции для режимов записи “При заполнении выбрасывать каждый второй отсчет”, “При заполнении прекратить запись”, “При заполнении стереть начало”.

- “Шаг записи таблиц (число итераций в отсчете)”. Поле ввода для определения режима записи данных в матрицу выходной табличной функции. Например, если значение поля равно двум, будут записываться данные каждой второй итерации поиска. Для значения три – каждой третьей и т.д.

Вкладка “Выходные табличные функции” окна редактирования “Переменные и функции”

Вкладка “Выходные табличные функции” предназначена для просмотра, добавления, редактирования и удаления выходных табличных функций.



Вкладка включает в себя таблицу выходных табличных функций и панель кнопок для работы с ней:

- Таблица выходных табличных функций. Содержит строки, каждая из которых соответствует выходной табличной функции. Таблица состоит из следующих столбцов:
 - “Имя”. Столбец, в котором отображаются имена выходных табличных функций.
 - “Аргумент”. Столбец, в котором отображаются аргументы выходных табличных функций.

- “Результаты”. Столбец, в котором отображаются результаты выходных табличных функций.
- Панель кнопок. Включает в себя кнопки для добавления, смены положения, редактирования и удаления строк таблицы выходных табличных функций.

В качестве выходной табличной функции может выступать только функция одной переменной, аргументом которой является номер итерации.

Форма добавления и редактирования выходной табличной функции имеет следующий вид:

Для добавления новой выходной табличной функции необходимо задать следующие параметры:

- “Имя выхода блока”. Поле, где задается имя выхода блока для данной табличной функции (справа к имени блока автоматически добавляется суффикс *_func*).
- “Аргумент функции”. В качестве аргумента функции на данный момент доступен “Номер итерации”
- “Значение функции”. Для добавления значений используется кнопка “+”. Выбор осуществляется из доступных значений в открывшемся отдельном окне.

Вкладка “Дополнительно” главного окна настроек блока

На вкладке “Дополнительно” задаются редко используемые параметры поиска.

Поиск равновесия

Функции | Поиск | Выходные таблицы | Дополнительно

Число итераций в одном такте расчета: 1000

Максимально допустимое число итераций: 1000

OK Отмена

К ним относятся:

- “Число итераций в одном такте расчета”. В поле задается число итераций поиска, после которых блок временно возвращает управление RDS для запуска работы других блоков. Независимо от значения этого параметра блок доведет поиск до конца. В зависимости от значения параметра время поиска может увеличиться (при небольших значениях параметра) или уменьшиться (при больших значениях параметра), но последнее приведет к зависанию RDS.
- “Максимально допустимое число итераций”. Число итераций, после которого поиск прекращается, считается, что равновесие не достигнуто, и на выход *Error_out* выдается сигнал ошибки (значение “1”).