УДК 004.432.2
DOI: 10.15827/0236-235X.125.042-054
Дата подачи статьи: 03.10.18
2019. Т. 32. № 1. С. 042–054

# *Гибкость использования в MatLab входных и выходных параметров стандартных и нестандартных функций*

*О.Г. Ревинская* [1, 2], *к.п.н., доцент кафедры физики плазмы, зав. лабораторией, ogr@tpu.ru*

[1] *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, 634050, Россия*
[2] *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, 634050, Россия*

На основе анализа публикаций в статье вскрыто противоречие между осознанием широты и гибкости использования входных и выходных параметров стандартных функций и ощущением жесткой предопределенности при описании и использовании аналогичных параметров нестандартных функций MatLab.

Это противоречие было разрешено путем детального анализа возможностей, предоставляемых MatLab (в том числе его последними версиями), для того, чтобы параметры функции при ее вызове интерпретировались как обязательные или необязательные, позиционированные или непозиционированные, типизированные или нетипизированные и т.д. Это разнообразие свойств входных и выходных параметров как раз и обеспечивает гибкость применения стандартных функций MatLab.

Показано, что по умолчанию MatLab контролирует только формальное превышение количества параметров, использованных при вызове функции (стандартной, нестандартной), над количеством соответствующих параметров, указанных при ее описании. Чтобы параметры нестандартной функции обладали определенными свойствами, необходимо специальным образом организовать программный код тела функции: проверить, сколько параметров указано при фактическом вызове функции, информация какого типа поступает в функцию и из нее через параметры; проанализировать, какие из необязательных параметров заданы, а какие нет, и т.д. Такая организация тела функции долгое время оставалась весьма трудоемкой. Поэтому в последних версиях MatLab появились и совершенствуются стандартные функции, автоматизирующие отдельные из выполняемых при этом операций.

Таким образом, в статье систематизирован комплекс мер, позволяющих обеспечить параметрам нестандартной функции такую же широту и гибкость использования, как у параметров стандартных функций MatLab.

На основе личного опыта прикладного программирования и преподавания MatLab автором подобраны простые примеры, детально иллюстрирующие способы написания нестандартных функций с параметрами, обладающими соответствующими свойствами.

***Ключевые слова:*** *MatLab, стандартная функция, нестандартная функция, входные и выходные параметры, обязательные и необязательные параметры.*

Подпрограммы в программировании являются одним из ведущих средств не только структурирования кода, но и распространения наиболее удачных его реализаций. Именно благодаря наличию большого количества библиотек, объединявших различные подпрограммы, в свое время в физических исследованиях был очень популярен Фортран. В настоящее время тенденция использования готовых программных решений в прикладных исследованиях растет благодаря появлению и активному развитию математических пакетов, таких как Mathematica, Mathcad, MatLab и т.д. Эти пакеты, как правило, сочетают в себе не только самостоятельный язык программирования, но и написанные на этом языке подпрограммы (процедуры, функции), воспроизводящие те или иные алгоритмы. Чем больше алгоритмов реализовано в виде хорошо отлаженных подпрограмм, тем реже при использовании математического пакета у пользователя будет возникать потребность в программировании как таковом. В этом случае решение большого количества прикладных задач, по сути, сводится к правильному использованию поставляемых разработчиком подпрограмм.

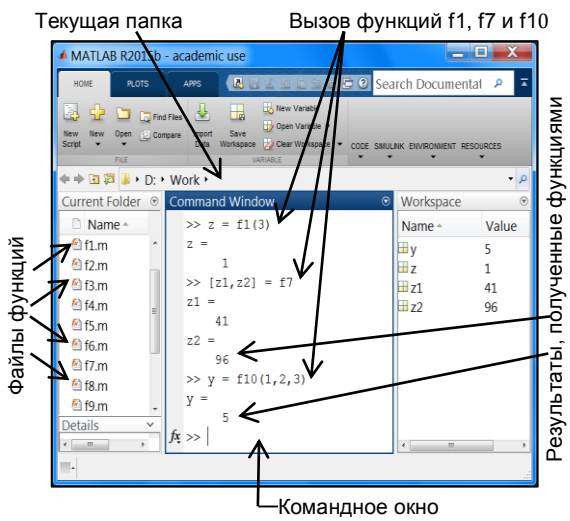
Ярким примером развития этой тенденции в настоящее время можно считать MatLab, библиотеки которого активно используются при решении задач радиолокации [1], проектирования освещения [2], безопасности космического аппарата в полете [3], управления водным транспортом [4, 5], анализа инвестиций [6], движения грунтовых вод [7], теплообмена [8], моделирования плотности вещества экзопланет [9] и ряда других задач. Авторы этих и многих других публикаций широко используют поставляемые разработчиками MatLab подпрограммы. Некоторые авторы (например, [10–12]), используя MatLab, не только прибегают к готовым подпрограммам, но и создают собственные. Большое количество публикаций, посвященных применению MatLab в исследованиях различной направленности, свидетельствуют о высоком качестве поставляемых разработчиком подпрограмм. Но эффективность использования этих подпрограмм может снижаться за счет некорректности их вызова. Анализируя публикации [3–6], [13–16] и другие, можно заметить, что многие поставляемые разработчиком подпрограммы MatLab в разных ситуациях можно вызывать по-разному – с разными и по содержанию, и по количеству параметрами. Это обеспечивает гибкость использования таких подпрограмм и существенно расширяет область их применения.

При этом следует отметить, что, несмотря (а подчас и благодаря) на обилие публикаций, посвященных применению MatLab, особенности соответствующего языка программирования по написанию и вызову подпрограмм (функций) излагаются в них очень кратко, не раскрывается многообразие возможностей исполь-

зования их параметров. В результате возникает диссонанс между изложенными в справочниках [17] и учебниках [18–20] правилами, которых рекомендуется придерживаться программисту при разработке и вызове собственных (нестандартных) подпрограмм, и правилами вызова стандартных (поставляемых производителем) подпрограмм (функций), получивших широкое практическое распространение. В частности, анализируя правила вызова различных стандартных функций, легко заметить, что не все параметры (как входные, так и выходные), используемые при вызове функций, являются обязательными. Однако информацию, как сделать необязательными параметры нестандартной функции, можно найти только в справочной системе MatLab [21]. Учитывая, что понимание принципов разработки функций существенным образом сказывается на корректности их использования, детально рассмотрим несколько способов конструирования в MatLab таких функций с необязательными параметрами, выполнение которых не приводит к прерыванию программы и появлению сообщения об ошибке.

## Общие правила написания функций в MatLab

Обычно в MatLab под функцией понимают любую подпрограмму, не выделяя среди них процедуры. Каждую подпрограмму, как правило, записывают в отдельном файле, а вызывают из другого файла (управляющей программы или функции) или из командного окна, если файл с функцией находится в папке, считающейся в MatLab текущей. Далее для определенности будем вызывать все рассматриваемые функции в командном окне (см. рисунок). Такой подход является




*Среда MatLab: вызов в командном окне нестандартных функций, хранящихся в текущей папке*

*MatLab: call of non-standard functions saved in the current folder, in the Command Window*

предпочтительным при обучении, так как позволяет в одном и том же окне видеть и команду вызова функции, и результат ее выполнения. Все примеры отформатированы в соответствии с синтаксисом MatLab. В процессе практического программирования, как правило, функции вызывают не в командном окне, а из другого m-файла (функции или управляющей программы).

И старые, и новые версии MatLab накладывают немного ограничений на структуру файла, в котором может храниться функция:

```
function [<выходные параметры>] = ...
          <идентификатор функции> ...
          (<входные параметры>)
% комментарии
    <операторы – тело функции>
end
```

В этой структуре обязательными являются только служебные слова `function`, `end` и идентификатор функции. Название файла (с расширением m) должно совпадать с идентификатором функции.

Входные и выходные параметры перечисляются через запятую без указания типов (в виде списков идентификаторов). Их количество и последовательность определяются программистом. То есть в MatLab можно написать функцию как с входными и (или) выходными параметрами, так и без них. Если при описании (написании) функции указаны несколько входных и несколько выходных параметров, обычно в справочниках и учебниках [17–20] говорится, что при вызове функции следует указать такое же количество параметров соответственно. Например, если описание функции в m-файле имеет вид

```
function y = f1( x )
   y = 2*x-5;
end
```

то ее вызов в командном окне такой:

```
>> z = f1(3)
```

Но возникает вопрос, можно ли благополучно вызвать функцию, указав меньше (или больше) параметров, чем при ее описании (ведь именно так часто и поступают при вызове стандартных функций); потребуется ли при этом каким-то специальным образом организовывать тело функции.

## Функции со списком параметров фиксированной длины

***Выходные параметры***. Если выходные параметры представляют собой список идентификаторов конечной длины, то в теле функции каждому параметру должно быть присвоено значение (хотя бы один раз), а количество выходных параметров, указанных при вызове функции, не должно превышать количество выходных параметров при ее описании. Если при вызове такой функции указать меньше выходных параметров, чем при описании, функция возвращает только часть сгенерированной ею информации (прерывание не про-

исходит, сообщение об ошибке не появляется). Например, описание функции в m-файле:

```
function [ y1,y2,y3,y4 ] = f2( x )
   y1 = x; y2 = x^2;
   y3 = x^3; y4 = x^4;
end
```

Варианты ее вызова в командном окне:

```
>> [z1,z2,z3,z4] = f2(2)
>> %   возвращает все 4 значения
>> [q1,q2] = f2(2)
>> %   возвращает только первые 2 значения
```

Возвращаемая информация распределяется по переменным в порядке их следования в списке выходных параметров. То есть, если при вызове указано меньше выходных параметров, чем при описании функции, невостребованной остается информация, которая в теле функции помещена в один или несколько последних параметров. Если же, наоборот, при вызове функции нет необходимости возвращать информацию, помещенную в теле функции в один из первых параметров, то при вызове функции на соответствующее место в списке выходных параметров вместо переменной можно поставить символ ~. Например:

```
>> [q1,~,q3] = f2(2)
>> % возвращает только первое и третье значения
>> [~,~,q3] = f2(2)
>> % возвращает только третье значение
```

Следует отметить, что функция, фактически вызванная без выходных параметров, возвращает только значение первого из параметров, формально указанных при описании. Например, в результате вызова функции `>> f2(2)` получится только первое значение, которое автоматически присваивается служебной переменной `ans`.

Если при описании функции выходные параметры отсутствуют, такую функцию всегда следует вызывать без присвоения результатов каким-либо переменным (без выходных параметров). Например, если описание функции в m-файле имеет вид

```
function f3( x,y,z )
   disp([x y z])
end
```

то ее вызов в командном окне может быть таким:

```
>> f3(3,4,5)
```

В этом случае функция `f3` не возвращает никаких значений.

***Входные параметры*** в теле функции могут использоваться как исходные данные, изменяться или не использоваться вовсе. Это не приводит к появлению сообщения об ошибке. Однако если входные параметры – это список идентификаторов конечной длины, то превышение количества входных параметров, указанных при вызове функции, по сравнению с количеством этих параметров, перечисленных при ее описании, приводит к появлению сообщения об ошибке (Too many input arguments).

Технически MatLab позволяет при вызове функции, входные параметры которой описаны в виде списка идентификаторов конечной длины, указывать меньше входных параметров, чем при описании (символом ~ входные параметры заменять нельзя). Но тогда тело функции должно быть организовано так, чтобы при любом варианте вызова функции в ней в качестве исходных данных не использовались незаданные переменные. То есть для корректной работы функция должна анализировать либо фактическое количество входных параметров, либо все ли входные параметры являются заданными. И в том, и в другом случае необходимо привлечение дополнительных возможностей MatLab, которые обычно в справочной и учебной литературе [17–20] не описываются, но будут рассмотрены далее. Без этих дополнительных возможностей примеров, когда функцию, объявленную со списком входных параметров конечной длины, вызывают с меньшим количеством входных параметров, очень мало, и они имеют смысл только для понимания языка программирования, но не имеют практической значимости. Например, описание функции в m-файле:

```
function f4( x,y,z )
   disp('test')
end
```

Варианты ее вызова в командном окне:

```
>> f4(3,4,5)
>> f4(3,4)
>> f4()
```

Каждый из этих вариантов приведет к благополучному вызову и завершению функции `f4`. Однако ни количество, ни значения входных параметров такой функции не влияют на ее работоспособность и результат. Поэтому не имеют практического смысла. Подобную функцию следовало бы писать совсем без параметров. Однако рассмотренный пример полезен для понимания того, что MatLab не отслеживает, все ли входные параметры используются в теле функции. В то же время MatLab контролирует, чтобы всем параметрам, объявленным как выходные, в теле функции было присвоено значение хотя бы один раз.

### Анализ параметров, указанных при вызове функции

Как было показано выше, даже если при объявлении функции указаны списки входных и выходных параметров конечной длины, технически возможно вызвать такую функцию с меньшим количеством параметров. Если предположить, что всем выходным параметрам присвоены значения, все входные параметры используются как исходные данные, то для обеспечения работоспособности такой функции с меньшим количеством параметров в ее теле необходимо анализировать количество (или существование) параметров, фактически указанных при вызове функции. Начиная с версии 2006, в MatLab включены стандартные функции `nargin` и `nargout`, которые возвращают фактическое количество входных и выходных параметров соответственно [21], а также функция `exist`, позволяющая проверить, существует ли указанная переменная в памяти MatLab. Если функции

nargin и (или) nargout без параметров вызываются в теле другой функции f, то каждая из них возвращает фактическое количество соответствующих параметров функции f, указанных при ее вызове. Например, если в m-файле написана функция

```
function [ z1,z2,z3,z4 ] = ...
                  f5( x1,x2,x3,x4 )
z1 = randi(10); z2 = randi(10);
z3 = randi(10); z4 = randi(10);
disp(['Количество  ВХОДНЫХ '...
  'параметров:' int2str(nargin)])
disp(['Количество ВЫХОДНЫХ '...
 'параметров:' int2str(nargout)])
end
```

то, вызывая ее с разным количеством входных и выходных параметров, в командном окне можно получить следующие результаты:

```
>> [z1] = f5(5,4,3,2);
Количество  ВХОДНЫХ параметров:4
Количество ВЫХОДНЫХ параметров:1
>> f5(5,4,3,2);
Количество  ВХОДНЫХ параметров:4
Количество ВЫХОДНЫХ параметров:0
>> [z1,z2,z3,z4] = f5(5,4);
Количество  ВХОДНЫХ параметров:2
Количество ВЫХОДНЫХ параметров:4
>> [z1,z2,z3,z4] = f5();
Количество  ВХОДНЫХ параметров:0
Количество ВЫХОДНЫХ параметров:4
>> [~,~,z3,z4] = f5();
Количество  ВХОДНЫХ параметров:0
Количество ВЫХОДНЫХ параметров:4
```

Из приведенных результатов, в частности, видно, что выходные параметры, задаваемые при вызове функции в виде ~, также считаются фактически запрашиваемыми.

Анализируя значения, возвращаемые функциями nargin и (или) nargout, можно избежать обращения к фактически незаданным входным параметрам и не вычислять незапрашиваемые выходные параметры. Далее приведен пример использования функции nargin для написания функции f6, которую можно успешно вызывать с разным количеством входных параметров:

```
function y = f6( x1,x2,x3,x4 )
   y = 0;
   if nargin>0, y = y+x1; end
   if nargin>1, y = y+x2; end
   if nargin>2, y = y+x3; end
   if nargin>3, y = y+x4; end
   if nargin>0, y = y/nargin; end
end
```

При этом считается, что если функция nargin возвращает 3 для функции, в описании которой список входных параметров имеет длину 4, то незаданным может быть только последний из параметров и т.д.

Тогда для функции f6 в командном окне можно получить следующие результаты:

```
>> z = f6(6,4,2,16)
z =
     7
>> z = f6(6,4)
z =
     5
>> z = f6()
z =
     0
```

Функцию f6 с той же функциональностью можно написать, используя exist вместо nargin. Функция exist возвращает код объекта, идентификатор которого указан в качестве ее первого входного параметра. Идентификатор необходимо указывать в строковом виде. С помощью второго входного параметра необходимо указать, какого типа объект функция exist будет искать в памяти MatLab. Если необходимо проверить, существует ли переменная, в качестве второго параметра этой функции используют 'var'. Если указанная переменная существует, то функция exist возвращает логическую единицу (иначе – 0). Тогда функцию f6 можно записать в виде

```
function y = f6( x1,x2,x3,x4 )
   y = 0; n = 0;
   if exist('x1', 'var') == 1
      y = y+x1; n = n+1; end
   if exist('x2', 'var') == 1
      y = y+x2; n = n+1; end
   if exist('x3', 'var') == 1
      y = y+x3; n = n+1; end
   if exist('x4', 'var') == 1
      y = y+x4; n = n+1; end
   if n>0, y = y/n; end
end
```

Следует отметить, что даже такую простую функцию, как f6, без проверки значения nargin или exist реализовать не удастся, так как не всегда (не для всякого количества аргументов) значения всех входных параметров существуют. MatLab инициализирует переменную только тогда, когда ей сопоставлено какое-то значение, и только такие переменные могут использоваться в функции в качестве начальных данных для получения результирующих значений. Если при вызове функции входной параметр не задан, то его идентификатор не может участвовать в вычислениях и других операторах в смысле исходных данных (появится сообщение об ошибке). Поэтому, чтобы избежать использования фактически не инициализированных переменных в функциях, необходимо проверять либо значение nargin, либо существование в памяти MatLab (с помощью функции exist) каждой из переменных, которыми обозначены входные параметры функции.

Используя проверку значения nargout, можно написать функцию f7, которую можно вызывать с разным количеством выходных параметров. Например:

```
function [ z1,z2,z3,z4 ] = f7
   if nargout>0
      z1 = randi(50); end
   if nargout>1
      z2 = 50 + randi(50); end
   if nargout>2
```

```
        z3 = 100 + randi(50); end
    if nargout>3
        z4 = 150 + randi(50); end
end
```

Как и для входных параметров, незапрашиваемыми считаются выходные параметры, расположенные в конце списка.

Следует отметить, что функцию `f7` можно написать, и не проверяя значение `nargout`, и она будет иметь ту же функциональность:

```
function [ z1,z2,z3,z4 ] = f7
    z1 = randi(50);
    z2 = 50 + randi(50);
    z3 = 100 + randi(50);
    z4 = 150 + randi(50);
end
```

Но здесь каждый выходной параметр вычисляется независимо от того, есть ли в этом фактическая необходимость. Если получение каждого из выходных параметров занимает длительное время, то использование проверки значения `nargout` поможет избежать невостребованных расчетов и сократить время работы программы, в которой соответствующая функция вызывается с разным количеством результирующих (выходных) параметров.

Функцией `exist` для проверки, является ли данный выходной параметр реально запрашиваемым, воспользоваться невозможно.

Таким образом, даже при описании входных и выходных параметров нестандартной функции в виде списка идентификаторов конечной длины в MatLab такую функцию можно вызывать с меньшим количеством параметров, чем указано при описании, если в теле функции осуществить проверку, является ли каждый из входных параметров фактически заданным, а каждый из выходных параметров реально запрашиваемым.

### Функции со списком параметров переменной длины

MatLab позволяет при описании параметров нестандартных функций использовать списки не только фиксированной, но и переменной длины. Для объявления входных и выходных параметров в виде списков переменной длины используют стандартные переменные `varargin` и `varargout` соответственно [21]. Каждая из этих переменных является одномерным массивом ячеек (массивом, в котором одновременно могут храниться данные разного типа: числа, строки, числовые массивы и т.д.). Массивы ячеек `varargin` и `varargout` заполняются только после вызова функции, в объявлении которой они использованы. Для обращения к элементу массива ячеек `varargin` или `varargout` используют фигурные скобки: `varargin{k}` или `varargout{k}`. Фактическое количество входных и выходных параметров в теле функции можно узнать с помощью либо функций `nargin` и `nargout` (как при рассмотренном ранее использовании списков фиксированной длины), либо функции `length(varargin)` и `length(varargout)`, возвращающей длину соответствующего массива.

Так, используя переменную `varargin`, функцию `f6` можно записать следующим образом:

```
function [ y ] = f6(varargin)
    y = 0;
    for k = 1:nargin
        y = y+ varargin{k}; end
    if nargin>0, y = y/nargin; end
end
```

А используя переменную `varargout`, функцию `f7` можно записать в виде

```
function [varargout] = f7
    for k = 1:nargout
        varargout{k} = (k-1)*50+randi(50);
    end
end
```

Таким образом, использование переменных `varargin` и (или) `varargout` для обозначения списков входных и выходных параметров позволяет в теле функции организовывать циклы с этими параметрами (если с параметрами выполняются однотипные операции), а также вызывать эти функции не только с меньшим, но и с произвольным количеством параметров. Например, если функции `f6` и `f7` описаны последним из приведенных выше способов, то каждый из следующих вызовов этих функций будет успешным:

```
>> z = f6(6,4,2)
>> z = f6()
>> z = f6(6,4,2,16,7)
>> [z1,z2,z3,z4] = f7
>> [z1,z2,z3,z4,z5] = f7
>> [~,z2,~,z4] = f7
>> [z1] = f7
>> f7
```

Следует отметить, что при таком варианте написания функция `f6`, вызванная без входных параметров `z = f6()`, возвращает 0, а функция `f7`, вызванная без выходных параметров, ничего не возвращает. Ни то, ни другое не приводит к прерыванию и появлению сообщения об ошибке.

В приведенных примерах входные параметры функции `f6` и выходные параметры функции `f7` обрабатываются и генерируются по одному и тому же принципу, сколько бы их ни было. В этих случаях вместо массивов ячеек `varargin` и (или) `varargout` иногда можно использовать одномерные массивы однотипных элементов. Тогда при описании функции `f6` достаточно указать один входной параметр `X`, подразумевая, что он массив. Количество элементов в этом массиве можно определить с помощью `length(X)`. То есть функцию `f6` можно объявить следующим образом:

```
function [ y ] = f6(X)
    y = 0;
    for k = 1:length(X)
        y = y + X(k); end
```

```
    if length(X)>0
       y = y/length(X); end
end
```

Тогда при вызове такой функции входные параметры необходимо записывать в квадратных скобках через запятую:

```
>> z = f6([6,4,2,16])
>> z = f6([6])
>> z = f6([])
```

В качестве выходного параметра функции `f7` также можно указать одномерный массив и генерировать его элементы, но в этом случае потребуется использовать входной параметр для управления длиной генерируемого массива (так как определить длину несуществующего массива с помощью `length(Z)` невозможно). Тогда функцию `f7` можно объявить следующим образом:

```
function [Z] = f7(n)
   Z = [];
   for k = 1:n
     Z(k) = (k-1)*50+randi(50); end
end
```

Вызывать такую функцию придется иначе, чем ее предыдущие варианты:

```
>> Z = f7(5)
>> Z = f7(2)
```

Кроме того, такая функция всегда возвращает все сгенерированные элементы: невозможно запросить, например, только последние сгенерированные элементы массива `Z` и игнорировать первые.

Таким образом, даже для списка однотипных параметров переменной длины (входных и выходных) при программировании тела функции использование массивов ячеек `varargin` и `varargout` дает более широкие возможности, чем использование массива однотипных элементов.

### Ограничения на количество и тип параметров функции

Как было показано ранее, если параметры функции описаны в виде списка идентификаторов фиксированной длины, MatLab анализирует количество фактически заданных параметров и не допускает только превышения указанного в списке количества параметров. Если параметры функции описаны с помощью переменных `varargin` и (или) `varargout`, то по умолчанию MatLab допускает использование любого количества фактических параметров без ограничений. Однако алгоритм обработки данных, оформленный в виде функции, сам может накладывать ограничения на количество входных и (или) выходных параметров. Например, некоторые алгоритмы не могут быть реализованы, если не задано некоторое минимально необходимое количество входных параметров. Алгоритм также может предусматривать ограничения по максимальному количеству входных или выходных параметров. Для многих алгоритмов входные параметры должны содержать данные определенного типа. Следовательно, в теле функций, реализующих такие алгоритмы, необходимо проверять тип входных параметров, а также соответствие количества входных и выходных параметров, указанных при фактическом вызове таких функций, определенному диапазону значений.

В 2011 г. в MatLab появилась функция `narginchk`, прерывающая работу, если фактическое количество входных параметров находится вне указанного диапазона (меньше минимально допустимого или больше максимально допустимого) [21]. Если количество входных параметров соответствует указанному диапазону, функция `narginchk` ничего не делает. Функция `nargoutchk`, выполняющая аналогичную проверку для выходных параметров, существует в MatLab еще с 2006 г. Для обеих функций диапазон, которому должно соответствовать количество входных или выходных параметров, задается двумя целыми числами (сначала нижняя граница, затем верхняя). Если верхняя и нижняя границы – одинаковые числа, то функцию, в теле которой использованы `narginchk` и (или) `nargoutchk`, можно успешно вызывать только с фиксированным количеством соответствующих параметров; если нижняя граница равна 0, то функцию можно вызывать как с параметрами, так и без параметров; если верхняя граница равна `inf` (бесконечность), то максимальное количество соответствующих параметров такой функции не регламентировано. Например:

```
function [varargout] = f8
nargoutchk(4,4)
 for k = 1:4
   varargout{k} = (k-1)*50+randi(50);
 end
end
```

При вызове функции `f8` всегда следует указывать четыре выходных параметра (все они являются обязательными), но при необходимости некоторые из них можно заменять символом ~:

```
>> [a,b,c,d] = f8
>> [~,b,~,d] = f8
```

При вызове функции `f8` с другим количеством параметров появится сообщение об ошибке: либо «Not enough output arguments», либо «Too many output arguments» соответственно.

Следующую функцию `f9`:

```
function f9( varargin )
 narginchk(2,4)
 disp('Обязательный параметр:')
 disp(varargin{1})
 disp('Обязательный параметр:')
 disp(varargin{2})
 if nargin>2
    disp('Необязательный параметр:')
    disp(varargin{3})
 end
 if nargin>3
    disp('Необязательный параметр:')
    disp(varargin{4})
 end
end
```

можно успешно вызывать либо с двумя, либо с тремя, либо с четырьмя входными параметрами (в остальных случаях будет генерироваться сообщение об ошибке):

```
>> f9(9,23,17,31)
>> f9(9,23,17)
>> f9(9,23)
```

Результаты, полученные функцией `f9`, легко предсказать, поэтому не имеет смысла их приводить.

Здесь первые два входных параметра функции являются обязательными (их нужно указывать при любом варианте вызова функции), а вторые два – необязательными. Для необязательных входных параметров можно задать значения по умолчанию. Например:

```
function y = f10( varargin )
 narginchk(1,3)
 x = varargin{1};
% значения по умолчанию
 a = 5; b = 10;
if nargin>1, a = varargin{2}; end
if nargin>2, b = varargin{3}; end
 y = a*x + b;
end
```

Если обязательный для функции `f10` первый входной параметр указать равным 1, а остальные необязательные параметры опустить, то в теле функции `f10` будут использованы значения переменных `a` и `b`, заданные по умолчанию (5 и 10 соответственно):

```
>> q = f10(1)
q =
    15
```

Если функцию `f10` вызвать с тремя параметрами `f10(1,2,3)`, то в теле функции переменным `a` и `b` будут присвоены значения 2 и 3 соответственно:

```
>> z = f10(1,2,3)
z =
     5
```

Аналогичную функцию можно написать со списком входных параметров конечной длины:

```
function y = f10( x,a,b )
 narginchk(1,3)
 % значения по умолчанию
 if nargin<2, a = 5; end
 if nargin<3, b = 10; end
 y = a*x + b;
end
```

Здесь значения по умолчанию присваиваются переменным `a` и `b`, если соответствующие входные параметры функции `f10` не заданы. Оба приведенных варианта функции `f10` вызываются одинаково и возвращают одинаковые результаты. И в том, и в другом варианте функция `narginchk(1,3)` обеспечивает контроль за фактическим количеством входных параметров функции `f10` и технически разделяет эти параметры на обязательные и необязательные.

Большинство нестандартных функций, создаваемых программистами, предназначено для работы с входными параметрами, количество которых, если и может варьироваться, то в узком диапазоне. Следует признать нужным (а порой и обязательным) при разработке таких функций использование `narginchk` в их теле.

Кроме контроля за необходимым и достаточным количеством входных параметров нестандартной функции, для большинства алгоритмов, реализуемых в них, критичным является, чтобы каждый входной параметр передавал функции информацию определенного типа. По умолчанию MatLab не контролирует тип ни выходных, ни входных параметров. Поэтому некоторые функции можно одинаково успешно вызывать с фактическими параметрами самых разных типов. Например, в качестве входных параметров функции `f9` можно использовать числовые скаляры `>> f9(9,23,17)`, числовые массивы `>> f9([9,1], [1,23;7,0], [17;99;35])`, символьные массивы и строки `>> f9('9', '23', '17')` и т.д., а также их комбинации `>> f9(9, '23', [17,3,5])`. Учитывая свойства операторов, использованных в теле функции `f9`, можно утверждать, что все приведенные здесь вызовы функции `f9` будут успешными. Например:

```
>> f9(9, '23', [17,3,5])
Обязательный параметр:
     9
Обязательный параметр:
23
Необязательный параметр:
    17     3     5
```

Однако на практике такие функции, выполняющие универсальные действия с входными параметрами любого типа, встречаются крайне редко. Для большинства реализуемых в нестандартных функциях алгоритмов исходные данные, которые, как правило, передаются в функцию через входные параметры, должны относиться к определенным типам. Так как MatLab по умолчанию не проверяет типы входных параметров, для гарантии работоспособности реализуемого алгоритма проверку необходимо организовать в теле функции, написав соответствующий программный код. Для этого MatLab предлагает большой набор функций [22], каждая из которых проверяет, относится ли информация, хранящаяся в указанной переменной, к определенному типу. Каждая из этих функций возвращает логическую 1, если проверка прошла успешно, или 0, если анализируемая переменная имеет любой другой тип, кроме проверяемого. Например, функции `isscalar(x)`, `isvector(x)`, `ismatrix(x)`, `iscell(x)` проверяют, является ли переменная `x` скаляром, одномерным массивом, двумерным массивом, массивом ячеек соответственно; функции `isnumeric(x)`, `ischar(x)`, `isstring(x)` – является ли переменная `x` числом (или числовым массивом), символом, строкой соответственно; функции `isinteger(x)`, `isfloat(x)`, `isreal(x)`, `islogical(x)` – хранится ли в переменной `x` целое, вещественное или логическое число.

Используя эти и подобные им функции проверки [22], можно организовать прерывание работы не-

стандартной функции, если фактическое значение какого-либо из входных параметров нельзя отнести к определенному типу. Это позволит избежать выполнения реализованного в нестандартной функции алгоритма с некорректными данными. Например, рассмотрим функцию `f11`, входные параметры которой являются списком идентификаторов фиксированной длины:

```
function r = f11( x,y )
narginchk(2,2)
if isscalar(x) && isnumeric(x)
  if isscalar(y) && isnumeric(y)
     r = sqrt(x^2+y^2);
  else
   error(['2-й параметр функции '...
' f11 должен быть числовым скаляром'])
  end
else
 error(['1-й параметр функции '...
' f11 должен быть числовым скаляром'])
end
end
```

Тогда, указав при вызове функции `f11` два числовых значения (скаляра), можно получить числовой результат. Если вместо хотя бы одного из входных параметров поставить не число или не скаляр, выполнение функции прервется и появится сообщение об ошибке:

```
>> z = f11(3,4)
z =
     5
>> z = f11(3,[4,2])
Error using f11 (line 7)
2-й параметр функции f11 должен быть
числовым скаляром
>> z = f11('3',4)
Error using f11 (line 11)
1-й параметр функции f11 должен быть
числовым скаляром
```

Аналогичным образом можно написать функцию `f12`, входные параметры которой являются массивом ячеек переменной длины:

```
function r = f12( varargin )
narginchk(1,5)
r = 0;
for k = 1:nargin
    x = varargin{k};
    if isscalar(x) && isnumeric(x)
       r = r+x^2;
    else
    error([int2str(k)...
       '-й параметр функции f11 '...
    'должен быть числовым скаляром'])
    end
end
r = sqrt(r);
end
```

Вызывая функцию `f12` с числовыми и нечисловыми входными параметрами, можно получить следующие результаты:

```
>> z = f12(3,4,5,5,5)
z =
    10
>> z = f12(3,4,5,'5',5)
Error using f12 (line 9)
4-й параметр функции f11 должен быть
числовым скаляром
```

Для генерации сообщений об ошибках в телах функций `f11` и `f12` использована стандартная функция `error`, которая прерывает работу соответствующей функции и выводит сообщение, текст которого является обязательным параметром функции `error`.

Таким образом, ограничение количества обязательных и возможных входных и выходных параметров, а также проверка корректности типа данных, передаваемых в функцию с помощью входных параметров, существенно облегчают программирование нестандартных функций с переменным количеством параметров, повышает надежность их использования.

### Функции с опциями

Во всех рассмотренных выше видах нестандартных функций с переменным и постоянным количеством параметров фактические значения входных параметров интерпретировались каждой из функций в порядке их следования. Чаще всего информация, поступившая в функцию через первый параметр, преобразуется одним способом, информация, поступившая через второй параметр, – другим, информация, поступившая через третий параметр, – третьим способом и т.д. Благодаря такому механизму интерпретации данных, выполняемой слева направо, нет необходимости, помимо значения, передавать в функцию какой-либо идентификатор, указывающий на способ интерпретации поступившей информации. При работе с функциями это позволяет экономить память, но требует от программиста тщательного соблюдения порядка следования параметров при вызове функций (и стандартных, и нестандартных), ориентируясь на способ их использования в телах этих функций. Такие параметры называются позиционированными. Именно поэтому незаданными могут быть только входные позиционированные параметры, расположенные в конце списка.

Как известно, опциями называются такие входные параметры функции (подпрограммы), для которых всегда существуют значения, заданные по умолчанию. Поэтому при вызове функции некоторые (или все) из этих параметров можно опустить. Если опций несколько и для какой-то из них нужно задать значение, отличное от значения по умолчанию, то принцип последовательной интерпретации входных параметров требует, чтобы заданными явным образом (не по умолчанию) были все параметры, расположенные в списке перед этой опцией. То есть для опций, расположенных в списке входных параметров раньше, теряется смысл существования значения по умолчанию, если они позиционированы. Чтобы при вызове функции была возможность явным образом указывать только те значения опций, которые отличаются от заданных по умолчанию, необходимо, чтобы значения опций при вызове

функции можно было указывать в любом порядке (непозиционированные параметры). Но тогда для правильной интерпретации передаваемых в функцию данных необходимо каждое значение сопровождать информацией, к какой именно опции оно относится. Поэтому в MatLab при вызове стандартных и нестандартных функций опции задаются двумя параметрами: уникальный для данной функции идентификатор опции в строковом формате и значение опции. Например, при вызове широко используемой стандартной функции `plot(X,Y, 'Color', [1 0 0])` параметры `X` и `Y` интерпретируются по их положению в списке параметров, а для опции с названием `'Color'` указано значение `[1 0 0]`, отличное от заданного по умолчанию. Остальные опции функции `plot` в этом примере остались заданными по умолчанию.

Чтобы реализовать непозиционированный подход к вызову функций с опциями, необходимо в теле функции не только задать значения всех опций по умолчанию, но и организовать в списке фактически переданных функции параметров поиск названия каждой опции с последующим присвоением сопутствующего ему переданного значения.

При объявлении функций с опциями чаще всего для опций используют переменную `varargin`, а для остальных входных параметров – список идентификаторов фиксированной длины, значения в котором интерпретируются по их расположению в списке – позиционированные параметры. Чтобы интерпретация параметров была корректной, переменную `varargin` всегда располагают после списка идентификаторов фиксированной длины, все (или несколько первых) элементы которого считаются обязательными параметрами при вызове такой функции. Например, рассмотрим функцию `f13`:

```
function y = f13(x, varargin)
narginchk(1,7)
% значения опций по умолчанию
  a = 0; b = 1; c = 0;
% присвоение фактически заданных
% значений опций
  if nargin>1
     for k = 1:2:(length(varargin)-1)
        if varargin{k}=='a'
           a = varargin{k+1}; end
        if varargin{k}=='b'
           b = varargin{k+1}; end
        if varargin{k}=='c'
           c = varargin{k+1}; end
     end
  end
% получение возвращаемого значения
  y = a*x^2 + b*x + c;
end
```

Эта функция имеет один обязательный входной параметр (`x`) и три опции (`'a'`, `'b'` и `'c'`). Функцию `f13` можно вызывать как с опциями (одной, двумя или тремя), так и без них:

```
>> q = f13(5)
q =
     5
>> q = f13(5,'a',1)
q =
    30
>> q = f13(5,'b',2)
q =
    10
>> q = f13(5,'c',3)
q =
     8
```

Даже при вызове такой простой функции, как `f13`, опции можно задавать в любом порядке:

```
>> q = f13(5,'a',1,'c',3)
q =
    33
>> q = f13(5,'c',3,'a',1)
q =
    33
>> q = f13(5,'c',3,'a',1,'b',2)
q =
    38
```

Объявление функций с опциями требует не только корректной идентификации этих параметров, но, как и для позиционированных параметров, контроля правильности типа данных, передаваемых с помощью соответствующей опции. Это значительно усложняет предварительный анализ и разбор данных, поступивших через входные параметры функции. Для облегчения этого процесса в MatLab [21], начиная с версии 2007, появились функции `parse`, `inputParser`, `addRequired`, `addOptional`, `addParamValue` (начиная с версии 2013b функция `addParamValue` была заменена функцией `addParameter` с тем же синтаксисом). Функция `parse` выполняет разбор и анализ некоторых данных в соответствии с заданной структурой. Остальные функции позволяют создавать и детализировать эту структуру: `inputParser` создает пустую структуру параметров; `addRequired` добавляет один обязательный позиционированный, `addOptional` – необязательный позиционированный параметр, `addParameter` – опцию (необязательный непозиционированный параметр). Для каждого из элементов создаваемой структуры можно с помощью соответствующей функции (`addRequired`, `addOptional` или `addParameter`) указать идентификатор, значение по умолчанию (для необязательных параметров) и логическую функцию, которую необходимо использовать для проверки корректности типов фактических значений параметров. Например, если функция имеет один обязательный позиционированный параметр (числовой скаляр) и три опции, необходимо сначала создать пустую структуру параметров:

```
ParametrStruct = inputParser;
```

После этого добавить к этой структуре `ParametrStruct` обязательный параметр `x`, не имеющий значения по умолчанию:

```
addRequired (ParametrStruct, 'x')
```

Если этот параметр должен быть числовым скаляром, то логическую функцию проверки типа данных, сопоставляемых данному параметру, можно записать как третий параметр функции `addRequired` в виде безымянной `@`-функции, объединяющей `isnumeric` и `isscalar`:

```
addRequired (ParametrStruct, 'x',...
   @(x) isnumeric(x) && isscalar(x))
```

Если логическая `@`-функция не указана, то проверка типа данных далее при разборе фактических параметров осуществляться не будет.

Чтобы к структуре `ParametrStruct` добавить опцию, используют (для версии MatLab 2013b и далее) функцию `addParameter`, указав не только строковый идентификатор опции (`'a'`) и логическую `@`-функцию (при необходимости), но и значение по умолчанию (`0`):

```
addParameter (ParametrStruct, 'a', 0)
```

или

```
addParameter(ParametrStruct, 'a', ...
 0, @(x) isnumeric(x) && isscalar(x))
```

Остальные опции добавляют в структуру `ParametrStruct` аналогичным образом. После того как структура полностью сформирована, ее можно использовать для разбора и анализа фактических параметров объявляемой нестандартной функции с помощью стандартной функции `parse`, подставив идентификатор структуры `ParametrStruct` в качестве ее первого параметра. В качестве второго и последующих параметров функции `parse` необходимо указать все входные параметры объявляемой нестандартной функции. Например:

```
function y = f14(x, varargin)
 narginchk(1,7)
% создание структуры параметров
 ParametrStruct = inputParser;
 addRequired(ParametrStruct, 'x')
% для версии MatLab 2013b и позднее
 addParameter(ParametrStruct, 'a', 0)
 addParameter(ParametrStruct, 'b', 1)
 addParameter(ParametrStruct, 'c', 0)
% анализ и разбор параметров
 parse(ParametrStruct, x, ...
                   varargin{:})
% получение возвращаемого значения
   y = ParametrStruct.Results.a* ...
    ParametrStruct.Results.x^2 + ...
    ParametrStruct.Results.b* ...
    ParametrStruct.Results.x + ...
    ParametrStruct.Results.c;
end
```

Надо отметить, что в большинстве случаев для корректного разбора при вызове функции `parse` после идентификатора структуры `ParametrStruct` следует через запятую перечислить все формальные входные параметры функции `f14` в том же порядке, как в заголовке (`x, varargin`), но не в виде массива ячеек, а в виде списка, то есть: `x, varargin{:}`. Значения всех фактически переданных в функцию `f14` параметров, успешно проанализированные функцией `parse`, помещаются в поле `Results` созданной структуры `ParametrStruct`. Для каждого параметра в поле `Results` создается отдельное поле, название которого совпадает с идентификатором параметра, указанным при формировании структуры. Например, фактическое значение опции `'b'` хранится в поле `ParametrStruct.Results.b`. Кроме поля `Results`, структура `ParametrStruct` содержит еще несколько полей, в которых сохраняется остальная информация о входных параметрах (в частности, значения по умолчанию и т.д.).

Приведенный выше вариант функции `f14` работает и вызывается так же, как и функция `f13`. Как и в функции `f13`, здесь при анализе и разборе фактических параметров проверка корректности данных не выполняется. Но если проверку необходимо инициировать, то для этого в функции `f14` при формировании структуры достаточно только указать соответствующие логические функции:

```
function y = f14(x, varargin)
 narginchk(1,7)
% создание структуры параметров
 ParametrStruct = inputParser;
 addRequired(ParametrStruct, 'x', ...
@(x) isnumeric(x) && isscalar(x))
% для версии MatLab 2013b и позднее
 addParameter(ParametrStruct, 'a',...
 0, @(x) isnumeric(x) && isscalar(x))
 addParameter(ParametrStruct, 'b',...
 1, @(x) isnumeric(x) && isscalar(x))
 addParameter(ParametrStruct, 'c',...
 0, @(x) isnumeric(x) && isscalar(x))
% анализ и разбор параметров
parse(ParametrStruct, x, varargin{:})
% получение возвращаемого значения
   y = ParametrStruct.Results.a* ...
    ParametrStruct.Results.x^2 + ...
    ParametrStruct.Results.b* ...
    ParametrStruct.Results.x + ...
    ParametrStruct.Results.c;
end
```

Тогда при попытке вызвать функцию `f14` со строковым или нескалярным значением опции `'b'` появится следующее сообщение:

```
>> q = f14(5,'b',[2 4])
Error using f14 (line 15)
Argument 'b' failed validation
@(x)isnumeric(x)&&isscalar(x).
>> q = f14(5,'b','2')
Error using f14 (line 15)
Argument 'b' failed validation
@(x)isnumeric(x)&&isscalar(x).
```

Прерывание функции `f14` произойдет прежде, чем она попытается получить возвращаемое значение.

Вызов функции `f13` (или первого варианта функции `f14`) с теми же входными параметрами не приведет к появлению ошибки:

```
>> q = f13(5,'b',[2 4])
q =
```

```
    10    20
>> q = f13(5,'b','2')
q =
   250
```

За счет встроенных возможностей MatLab, если один входной параметр (`a`, `b` или `c`) является массивом (например `[2 4]`), получение возвращаемого значения осуществляется поэлементно, и в результате функция `f13(5,'b',[2 4])` получит не числовой скаляр, а числовой массив. При вызове функции `f13(5,'b','2')` строковое значение параметра `b` автоматически будет преобразовано в числовое. Эти результаты обусловлены способом получения возвращаемого функцией значения и принятыми в MatLab умолчаниями по работе с массивами и преобразованием типов, которые приходится учитывать, если не контролировать типы фактически заданных входных параметров в теле функции. При другом способе получения возвращаемого значения неверный тип фактически заданных входных параметров может (если тип не контролируется) привести к появлению сообщения об ошибке в процессе получения возвращаемого значения (например, если функцию `f13` вызвать следующим образом: `>> q = f13([5 1])` – здесь обязательный параметр `x` задан в виде одномерного массива).

Следовательно, контроль типов передаваемых в функцию через входные параметры данных, как правило, обеспечивает предсказуемую надежность полученных этой функцией результатов. А использование стандартной функции `parse` для анализа и разбора фактически переданных в объявляемую функцию входных параметров позволяет создавать нестандартные функции, которые можно вызывать с опциями, сохраняя читаемость и структурную простоту программного кода соответствующей части объявляемой функции.

## Заключение

Проведенный анализ показал, что уже на уровне ядра (без подключения дополнительных библиотек) MatLab предоставляет программисту широкие возможности по разработке нестандартных функций, которые можно вызывать как с полным, так и с неполным списком входных и выходных параметров. Входные параметры функции могут быть позиционированными (то есть интерпретироваться функцией по их расположению в списке) или непозиционированными (интерпретироваться с помощью специальных строковых констант), выходные параметры могут быть только позиционированными.

Позиционированные входные параметры могут являться обязательными (их значения необходимо указывать при вызове функции всегда) и необязательными (такие параметры при вызове функции можно опустить). Все опции являются непозиционированными параметрами и всегда считаются необязательными.

Учитывая принятые способы интерпретации, всегда подразумевается, что входные параметры в заголовке функции располагаются в следующем порядке: обязательные позиционированные, необязательные позиционированные, опции. Но синтаксически ни одна из групп входных параметров никак не выделяется.

Возможность вызывать функции с полным или неполным списком входных и выходных параметров, а также с опциями практически не сказывается на синтаксисе заголовка функции в m-файле. Но в теле функции возникает необходимость контролировать фактическое существование и соответствие определенному типу входных параметров. Начиная с версии 2007, в MatLab введены стандартные функции, помогающие программисту выполнять эти операции в теле объявляемой им нестандартной функции.

Стандартные функции, предоставляемые разработчиками MatLab, используют как обязательные, так и необязательные параметры и опции во всех возможных сочетаниях. Этим и объясняются гибкость и многообразие вариантов вызова стандартных функций в зависимости от задачи, для решения которой они используются.

Анализ возможностей MatLab и приобретение личных навыков создания и использования нестандартных функций с переменным количеством параметров позволяет программисту увеличить гибкость и широту их применения. Приобретенный в результате этого опыт, в свою очередь, положительно отражается на корректности использования не только нестандартных, но и стандартных функций, предоставляемых разработчиками MatLab. Поэтому в преподавании MatLab студентам физико-математических и технических специальностей в настоящее время актуально уделять внимание созданию и использованию функций, которые можно вызывать с переменным количеством параметров, например, на факультативных занятиях. Из приведенных выше примеров видно, что такое обучение может быть начато уже на младших курсах, так как изложение материала может опираться на несложные по содержанию алгоритмы, идеи которых могут быть предложены как преподавателями, так и самими студентами.

### *Литература*

1. Калинин Т.В., Барцевич А.В., Петров С.А., Хрестинин Д.В. Программный комплекс моделирования системы радиолокационного распознавания // Программные продукты и системы. 2017. № 4. С. 733–738.

2. Cai H. Luminance gradient for evaluating lighting. Lighting Research and Technology, 2016, vol. 48, no. 2, pp. 155–175.

3. Ягольников С.В., Храмичев А.А., Катулев А.Н., Палюх Б.В., Зыков И.И. Показатели безопасности космического аппарата в полете и генерация информации для предупреждения о высокоскоростном взаимодействии // Программные продукты и системы. 2017. № 4. С. 726–732.

4. Чертков А.А. Автоматизация выбора кратчайших маршрутов судов на основе модифицированного алгоритма Беллмана–

Форда // Вестн. гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С.О. Макарова. 2017. Т. 9. № 5. С. 1113–1122.

5. Дмитриенко Д.В. Исследование операций – инструмент для повышения эффективности управления водным транспортом // Вестн. гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С.О. Макарова. 2017. Т. 9. № 5. С. 1131–1141.

6. Воронов С.С., Жалнин В.П., Забнев В.С., Тюрин И.Ю. Автоматизация анализа долгосрочных инвестиций в среде MATLAB // МНИЖ. 2017. № 3–4. С. 22–28.

7. Жамбаа С., Касаткина Т.В., Бубенчиков А.М. Применение метода П.П. Куфарева к решению задачи о движении грунтовых вод под гидротехническими сооружениями // Вестн. Томского гос. ун-та: Математика и механика. 2017. № 47. С. 15–21.

8. Марголис Б.И. Программа идентификации условий теплообмена для изделий плоской формы // Программные продукты и системы. 2017. № 1. С. 148–151.

9. Джалмухамбетов А.У., Кравченко И.В., Джалмухамбетова Е.А. Моделирование в среде MATLAB распределения плотности вещества экзопланет // Символ науки. 2016. № 10-1. С. 22–25.

10. Попов А.М. Алгоритм выявления монотонного тренда // Перспективы науки. 2017. № 6. С. 22–25.

11. Гарынина С.В., Попов А.М. Реализация алгоритма Гуда–Тьюринга в пакете MATLAB // Системный анализ и аналитика. 2017. № 4. С. 55–63.

12. Афонин В.В., Федосин С.А. О структурировании лабораторно-практических занятий при изучении дисциплин программирования // Образовательные технологии и общество. 2014. Т. 17. № 4. С. 497–506.

13. Дмитриенко Д.В., Сахаров В.В., Чертков А.А. Алгоритм оценки матрицы прямых затрат в модели анализа межотраслевых связей В. Леонтьева // Транспортное дело России. 2017. № 3. С. 97–99.

14. Бородин Г.А., Титов В.А., Маслякова И.Н. Использование среды MATLAB при решении задач линейного программирования // Фундаментальные исследования. 2016. № 11-1. С. 23–26.

15. Власова Е.А., Попов В.С., Пугачев О.В. Создание фонда оценочных средств и новых образовательных технологий с использованием MATLAB при изучении линейной алгебры // Вестн. МГОУ: Физика-математика. 2016. № 4. С. 77–85.

16. Сирота А.А. Методы и алгоритмы анализа данных и их моделирование в MATLAB. СПб: БХВ-Петербург, 2016. 384 с.

17. Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель. М.: ДМК Пресс, 2014. 768 с.

18. Ревинская О.Г. Основы программирования в MatLab. СПб: БХВ-Петербург, 2016. 208 с.

19. Васильев А.Н. MATLAB. Самоучитель. Практический подход. СПб: Наука и техника, 2015. 448 с.

20. Солонина А.И., Клионский Д.М., Меркучева Т.В., Петров С.Н. Цифровая обработка сигналов и MATLAB. СПб: БХВ-Петербург, 2013. 512 с.

21. Input and Output Arguments – MATLAB & Simulink. URL: http://www.mathworks.com/help/matlab/input-and-output-arguments.html (дата обращения: 27.02.2018).

22. Detect state – MATLAB is*. URL: http://www.mathworks.com/help/matlab/ref/is.html?s_tid=doc_ta (дата обращения: 27.02.2018).

Software & Systems
DOI: 10.15827/0236-235X.125.042-054

Received 03.10.18
2019, vol. 32, no. 1, pp. 042–054

**Flexibility of using input and output parameters of standard and non-standard functions in MatLab**

***O.G. Revinskaya*** [1, 2]*, Ph.D. (Education), Associate Professor of the Department of Plasma Physics, Head of Laboratory, ogr@tpu.ru*

[1] *National Research Tomsk State University, Tomsk, 634050, Russian Federation*
[2] *National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 634050, Russian Federation*

**Abstract.** Based on a review of recent papers, the paper reveals the contradiction between the understanding of the breadth and flexibility of using input and output parameters of standard functions and the feeling of rigid predetermination when describing and using similar parameters of non-standard MatLab functions.

This contradiction is resolved by a detailed analysis of the capabilities provided by MatLab (including its latest versions), so that the function parameters (when it is called) are interpreted as mandatory or optional, positioned or unpositioned, typed or untyped, etc. This variety of properties of input and output parameters provides flexibility in the application of standard MatLab functions.

It is shown that by default MatLab controls only formal excess of the number of parameters used when calling a function (standard, non-standard) over the number of corresponding parameters specified in its description. For the parameters of a non-standard function to have certain properties, it is necessary to organize a function body program code in a special way: to check how many parameters are specified when the function is actually called, what type of information enters the function and exits through parameters; to analyze which optional parameters are set and which are not, etc. Such organization of the function body has been remaining very laborious for a long time. Therefore, the latest versions of MatLab have standard functions that automate some of the performed operations.

Thus, the article systematizes a set of measures that allow the parameters of a non-standard function to have the same breadth and flexibility of use as the parameters of standard MatLab functions.

Based on personal experience in applied programming and teaching MatLab, the author shows simple examples that illustrate in detail how to write non-standard functions with parameters that have the appropriate properties.

**Keywords:** MatLab, standard function, non-standard function, input and output parameters, required and optional parameters.

***References***

1. Kalinin T.V., Bartzevich A.V., Petrov S.A., Khrestinin D.V. Software suite for modeling a radar recognition system. *Software & Systems*. 2017, vol. 30, no. 4, pp. 733–738 (in Russ.).

2. Cai H. Luminance gradient for evaluating lighting. *Lighting Research and Technology*. 2016, vol. 48, no. 2, pp. 155–175.

3. Yagolnikov S.V., Khramichev A.A., Katulev A.N., Palyukh B.V., Zykov I.I. Inflight spacecraft safety performance and generating information to prevent high-speed interaction. *Software & Systems*. 2017, vol. 30, no. 4, pp. 726–732 (in Russ.).

4. Chertkov A.A. Automation selection shortcuts routes of ships on the basis of modified Bellman-Ford algorithm. *Bulletin of the State Univ. of Marine and River Fleet n.a. Admiral S.O. Makarov*. 2017, vol. 9, no. 5, pp. 1113–1122 (in Russ.).

5. Dmitrienko D.V. Operations research – a tool to improve the water transport management efficiency. *Bulletin of the State Univ. of Marine and River Fleet n.a. Admiral S.O. Makarov*. 2017, vol. 9, no. 5, pp. 1131–1141 (in Russ.).

6. Voronov S.S., Zhalnin V.P., Zabnev V.S., Tyurin I.Yu. Automation of the analysis of long-term investments additive of chitosan in MATLAB. *Intern. Research J*. 2017, no. 3-4, pp. 22–28 (in Russ.).

7. Jambaa S., Kasatkina T.V., Bubenchikov A.M. Application of Kufarev's method to solving the problem of subsoil waters movement under hydraulic engineering constructions. *Tomsk State Univ. J. of Mathematics and Mechanics*. 2017, no. 47, pp. 15−21 (in Russ.).

8. Margolis B.I. Program for heat conditions identification in flat products. *Software & Systems*. 2017, no. 1, pp. 148–151 (in Russ.).

9. Dzhalmukhambetov A.U., Kravchenko I.V., Dzhalmukhambetova E.A. Modeling in MATLAB of exoplanet material density distribution. *Symbol of Science*. 2016, no. 10-1, pp. 22–25 (in Russ.).

10. Popov A.M. The algorithm for monotonous trend identification. *Science Prospects*. 2017, no. 6, pp. 22–25 (in Russ.).

11. Garynina S.V., Popov A.M. Implementation of the Good–Turing algorithm in MATLAB. *System Analysis and Analytics*. 2017, no. 4, pp. 55–63 (in Russ.).

12. Afonin V.V., Fedosin S.A. On structuring of laboratory and practical studies when studying programming disciplines. *Educational Technologies and Society*. 2014, vol. 17, no. 4, pp. 497–506 (in Russ.).

13. Dmitrienko D.V., Saharov V.V., Chertkov A.A. Direct cost matrix estimation algorithm in the analysis model of V. Leontiev's interbranch connections. *Transport Business of Russia*. 2017, no. 3, pp. 97–99 (in Russ.).

14. Borodin G.A., Titov V.A., Maslyakova I.N. Solving linear programming problems with MATLAB. *Fundamental Research*. 2016, no. 11-1, pp. 23–26 (in Russ.).

15. Vlasova E.A., Popov V.S., Pugachev O.V. Creation of a fund of assessment tools and new educational technologies using MATLAB when studiyng linear algebra. *Bulletin of the Moscow Region State Univ. Series: Physics-Mathematics*. 2016, no. 4, pp. 77–85 (in Russ.).

16. Sirota A.A. *Methods and Algorithms for Data Analysis and Modeling in MATLAB*. St. Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2016, 384 p.

17. Dyakonov V.P. *MATLAB. Full Self-Teaching Guide*. Moscow, DMK Press, 2014, 768 p.

18. Revinskaya O.G. *The Basics of MatLab Programming*. St. Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2016, 208 p.

19. Vasilev A.N. *MATLAB. Self-Teaching Guide. Practical Approach*. 2nd ed., St. Petersburg, Science and Technology, 2015, 448 p.

20. Solonina A.I., Klionsky D.M., Merkucheva T.V., Petrov S.N. *Digital Signal Processing and MATLAB*. St. Petersburg, BHV-Peterburg Publ., 2013, 512 p.

21. *Input and Output Arguments – MATLAB & Simulink*. Available at: http://www.mathworks.com/help/matlab/input-and-output-arguments.html (accessed February 27, 2018).

22. *Detect State – MATLAB is**. Available at: http://www.mathworks.com/help/matlab/ref/is.html?s_tid=doc_ta (accessed February 27, 2018).

## Примеры библиографического описания статьи

1. Ревинская О.Г. Гибкость использования в MatLab входных и выходных параметров стандартных и нестандартных функций // Программные продукты и системы. 2019. Т. 32. № 1. С. 42–54. DOI: 10.15827/0236-235X.125.042-054.

2. Revinskaya O.G. Flexibility of using input and output parameters of standard and non-standard functions in MatLab. *Software & Systems*. 2019, vol. 32, no. 1, pp. 42–54 (in Russ.). DOI: 10.15827/0236-235X.125.042-054.