

DSGE-моделирование в пакете Dynare: практическое введение*

Коллум Джонс[†]

Нью-Йоркский Университет, Нью-Йорк, США

Мариано Кулиш[‡]

Университет Нового Южного Уэльса, Сидней, Австралия

Настоящий документ представляет собой практическое введение в пакет Dynare. В нём рассказывается об установке Dynare, записи динамической стохастической модели общего равновесия в обозначениях Dynare, а также обсуждаются выдача результатов оценивания модели в рабочем пространстве MATLAB и частые ошибки, возникающие при использовании Dynare. Работа Dynare демонстрируется на конкретном примере с кратким обсуждением оценивания и прогнозирования. Документ завершает эмпирическое приложение.

1 Установка Dynare

Dynare представляет собой набор функций MATLAB. Пакет считывает уравнения модели DSGE, решает или оценивает модель с заданным набором параметров и выдаёт результаты.

Для скачивания последней стабильной версии Dynare необходимо пройти по ссылке www.dynare.org/download: установочный файл должен называться `dynare-**-win.exe`, где символ * обозначает номер версии. Установка начнётся при запуске `.exe`-файла. Папкой установки по умолчанию является, как правило, `C:\dynare*`, где символ * обозначает номер версии. Все файлы MATLAB, необходимые для запуска Dynare, находятся в `C:\dynare*\matlab`.

После установки пакета Dynare необходимо указать MATLAB путь на его файлы. Для этого в MATLAB кликните `File` → `Set Path`, затем `Add Folder...` и выберите папку `C:\dynare*\matlab`. Все файлы Dynare должны теперь появиться в пути поиска MATLAB (`MATLAB search path`), как на Рис. 1. Нажмите `Save` и `Close`.

Для тестирования корректности установки Dynare наберите `dynare` в командной строке MATLAB. Если Dynare установлен правильно, вы получите сообщение об ошибке `??? Input argument 'fname' is undefined`. Если Dynare установлен неправильно, вы получите сообщение об ошибке `??? Undefined function or variable 'dynare'`.

2 Модель в Dynare

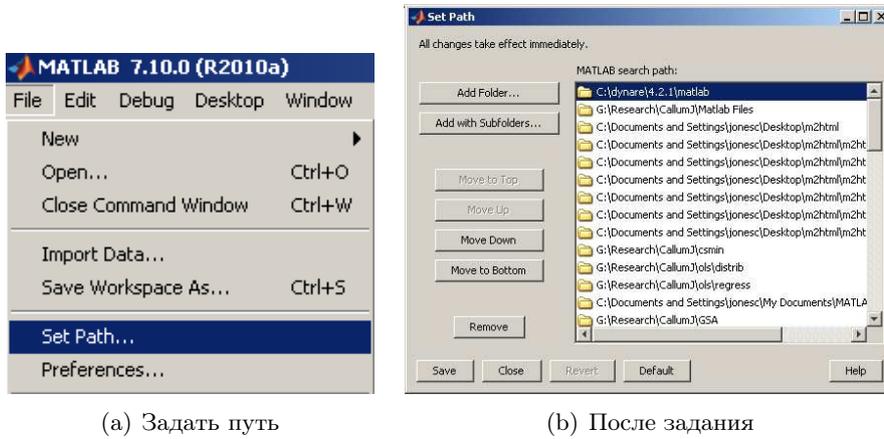
Dynare читает текстовые файлы формата `.mod` и преобразует их в файлы MATLAB, которые затем вызывают функции Dynare для анализа модели. В настоящем разделе мы продемонстрируем это на примере линеаризованной системы уравнений модели и покажем, как записать модель в `.mod`-файл, читаемый Dynare.

*Цитировать как: Джонс, Коллум & Мариано Кулиш (2014). «DSGE-моделирование в пакете Dynare: практическое введение», Квантиль, №12, стр. 23–44. Citation: Jones, Callum & Mariano Kulish (2014). “A practical introduction to DSGE modeling with Dynare,” *Quantile*, No.12, pp. 23–44.

[†]Адрес: Department of Economics, 19 West 4th Street, 6th floor, New York, USA. Электронная почта: jonescallum@gmail.com

[‡]Адрес: West Lobby Level 4, Australian School of Business Building, University of New South Wales, Sydney NSW 2052, Australia. Электронная почта: m.kulish@unsw.edu.au

Рис. 1: Задание пути поиска MATLAB



Рассматриваемая модель предложена в работе Ireland (2004). Используя обозначения автора, можно записать линеаризованные уравнения модели в следующем виде:

$$\hat{x}_t = E_t \hat{x}_{t+1} - (\hat{r}_t - E_t \hat{\pi}_{t+1}) + (1 - \omega)(1 - \rho_a) \hat{a}_t, \quad (1)$$

$$\hat{\pi}_t = \beta E_t \hat{\pi}_{t+1} + \psi \hat{x}_t - \hat{e}_t, \quad (2)$$

$$\hat{r}_t = \hat{r}_{t-1} + \rho_\pi \hat{\pi}_t + \rho_g \hat{g}_t + \rho_x \hat{x}_t + \varepsilon_{r,t}, \quad (3)$$

$$\hat{x}_t = \hat{y}_t - \omega \hat{a}_t, \quad (4)$$

$$\hat{g}_t = \hat{y}_t - \hat{y}_{t-1} + \hat{z}_t, \quad (5)$$

$$\hat{a}_t = \rho_a \hat{a}_{t-1} + \varepsilon_{a,t}, \quad (6)$$

$$\hat{e}_t = \rho_e \hat{e}_{t-1} + \varepsilon_{e,t}, \quad (7)$$

$$\hat{z}_t = \varepsilon_{z,t}. \quad (8)$$

Уравнение (1) — это кривая IS, уравнение (2) — кривая Филлипса, уравнение (3) — правило Тэйлора, уравнение (4) определяет разрыв ВВП, уравнение (5) определяет рост ВВП, а уравнения (6), (7) и (8) определяют спрос, издержки и технологические шоки соответственно. Детали вывода уравнения см. в работе Ireland (2004) или в подробных лекциях этого автора.

Запишем теперь модель в форме, которую Dynare сможет интерпретировать. В первой части кода Dynare нужно указать эндогенные переменные модели. Всего имеем восемь уравнений, а значит и восемь переменных: \hat{y}_t , \hat{x}_t , \hat{g}_t , \hat{r}_t , $\hat{\pi}_t$, \hat{a}_t , \hat{e}_t , \hat{z}_t . Синтаксис Dynare: `var [variable1, variable2, ...]`; строка должна оканчиваться точкой с запятой. В случае модели Ireland необходимо написать:

```
var y, x, g, r, pi, a, e, z ;
```

Далее определим экзогенные переменные модели. В модели Ireland четыре шока: $\varepsilon_{r,t}$, $\varepsilon_{a,t}$, $\varepsilon_{e,t}$ и $\varepsilon_{z,t}$. Синтаксис Dynare: `varexo [variable1, variable2, ...]`; строка должна оканчиваться точкой с запятой. В случае модели Ireland необходимо написать:

```
varexo eps_r, eps_a, eps_e, eps_z ;
```

Теперь зададим параметры модели. В модели Ireland восемь структурных параметров и четыре стандартных отклонения шоков, т.е. всего двенадцать параметров. Синтаксис Dynare: `parameters [parameter1, parameter2, ...]`; строка должна оканчиваться точкой с запятой. В случае модели Ireland необходимо написать:

```
parameters beta, omega, psi, rho_pi, rho_g, rho_x, ...
           rho_a, rho_e, sig_r, sig_z, sig_a, sig_e ;
```

Наконец, зададим значения параметров. Ireland оценивает большую часть параметров методом максимального правдоподобия на квартальных данных США с 1947 года. Синтаксис задания параметров `[parameter] = [value]`; совпадает с синтаксисом MATLAB. В случае модели Ireland напишем:

```
beta    = 0.99 ;
psi     = 0.1  ;
omega   = 0.0617 ;
rho_pi  = 0.3597 ;
rho_g   = 0.0000 ;
rho_x   = 0.0347 ;
rho_a   = 0.9470 ;
rho_e   = 0.9625 ;
sig_a   = 0.0405 ;
sig_e   = 0.0012 ;
sig_z   = 0.0109 ;
sig_r   = 0.0031 ;
```

Запишем теперь линеаризованные уравнения модели. Уравнения записываются практически в таком же виде, в каком они появляются в статье. Раздел задания уравнений начинается с `model (linear)` ; и заканчивается с `end ;`. Некоторые особенности синтаксиса:

1. Переменные, которые умножаются (делятся) на параметр, отделяются от него с помощью символа `*` (`/`).
2. Переменные текущего момента времени не имеют нижнего временного индекса в коде Dynare. Лаги переменных x_{t-i} записываются как `x(-i)`, а условные математические ожидания $E_t x_{t+i}$ записываются как `x(+i)`.
3. Уравнения заканчиваются двоеточием ;.

Уравнения модели Ireland в форме Dynare имеют вид:

```
model (linear) ;
  x = x(+1) - ( r - pi(+1) ) + ( 1 - omega ) * ( 1 - rho_a ) * a ;
  pi = beta * pi(+1) + psi * x - e ;
  r = r(-1) + rho_pi * pi + rho_g * g + rho_x * x + eps_r ;
  x = y - omega * a ;
  g = y - y(-1) + z ;
  a = rho_a * a(-1) + eps_a ;
  e = rho_e * e(-1) + eps_e ;
  z = eps_z ;
end ;
```

После спецификации уравнений необходимо сообщить Dynare, откуда начинать симуляции и считать функции импульсного отклика, т.е. начальные значения переменных. Аналогично заданию стартовых значений параметров, начнём секцию со строки `initval` ; и закончим её строкой `end ;` , задав значения переменных. Обычно начальные значения соответствуют состоянию равновесия линеаризованной модели. В модели Ireland все переменные заданы в Dynare в отклонениях от своих равновесных значений, и поэтому равновесию модели соответствуют нулевые начальные значения. В данном случае, вместо указания начального

значения для каждой переменной отдельно, можно написать `steady ;`, после чего Dynare начнёт симуляцию из состояния равновесия.

Далее мы должны определить шоки и задать их дисперсии либо произвольным образом, либо соответствующей оценкой. Начинаем секцию кода со строки `shocks ;` и заканчиваем её строкой `end ;`. Синтаксис для задания шока: `var [shock] = [shock variance] ;`. Для модели Ireland соответствующий блок кода будет таким:

```
shocks ;
    var eps_a = sig_a^2 ;
    var eps_e = sig_e^2 ;
    var eps_z = sig_z^2 ;
    var eps_r = sig_r^2 ;
end ;
```

Наконец, мы решаем уравнения и получаем результаты Dynare с настройками по умолчанию. Используем команду `stoch_simul` без дополнительных опций, справку по которым можно получить в справочнике Dynare¹. Таким образом, заключительная строка `.mod`-файла имеет вид

```
stoch_simul ;
```

Этого достаточно для запуска Dynare, решения модели и получения результатов. Содержимое `.mod`-файла приведено в приложении.

3 Запуск Dynare и вывод результатов

Чтобы запустить созданный `.mod`-файл, сначала сохраните текстовый файл с расширением `.mod` в текущую папку MATLAB, например, как `ireland.mod`. Чтобы запустить Dynare, в командной строке MATLAB наберите

```
>> dynare ireland.mod
```

Вы увидите, что Dynare начал работу. Пакет читает содержимое `.mod`-файла с описанием модели и решает линейную модель рациональных ожиданий. Dynare выводит массу аналитической информации в командное окно MATLAB, сохраняя большую часть в рабочее пространство, и генерирует графики функций импульсных откликов на шоки к каждой переменной. Пакет также сохраняет весь сгенерированный контент в рабочую папку.

Первое, что печатает Dynare, — это информация обработки. Строки `[mex]` означают, что Dynare нашёл `.mex`-файлы — исполняемые файлы MATLAB, которые производят некоторые вычисления вне оболочки MATLAB. Следует проверить, чтобы количество уравнений, которые Dynare находит в `.mod`-файле, совпадало с количеством эндогенных переменных модели. В модели Ireland таких переменных восемь.

```
Configuring Dynare ...
[mex] Generalized QZ.
[mex] Sylvester equation solution.
[mex] Kronecker products.
[mex] Sparse kronecker products.
[mex] Bytecode evaluation.
[mex] k-order perturbation solver.
[mex] k-order solution simulation.
```

¹www.dynare.org/documentation-and-support/manual/manual.pdf

```

Starting Dynare (version 4.2.0).
Starting preprocessing of the model file ...
Found 8 equation(s).
Evaluating expressions...done
Computing static model derivatives:
- order 1
Computing dynamic model derivatives:
- order 1
- order 2
Processing outputs ...done
Preprocessing completed.
Starting MATLAB/Octave computing.

```

Затем Dynare напечатает равновесные значения всех переменных и таблицу с количеством переменных.

STEADY-STATE RESULTS:

```

y    0
x    0
g    0
r    0
pi   0
a    0
e    0
z    0

```

MODEL SUMMARY

```

Number of variables:      8
Number of stochastic shocks: 4
Number of state variables: 4
Number of jumpers:       2
Number of static variables: 2

```

Далее, Dynare сгенерирует ковариационную матрицу шоков. Значения на диагонали соответствуют специфицированным `eps`-значениям в `.mod`-файле.

MATRIX OF COVARIANCE OF EXOGENOUS SHOCKS

Variables	eps_r	eps_a	eps_e	eps_z
eps_r	0.000010	0.000000	0.000000	0.000000
eps_a	0.000000	0.001640	0.000000	0.000000
eps_e	0.000000	0.000000	0.000001	0.000000
eps_z	0.000000	0.000000	0.000000	0.000119

Dynare вычисляет решение модели как

$$\hat{y}_t = A\hat{y}_{t-1} + Bu_t,$$

где \hat{y}_t — вектор эндогенных переменных в отклонениях от равновесных значений, \hat{y}_{t-1} — отклонение y_{t-1} от равновесного значения, а u_t — вектор экзогенных шоков. Первые четыре строки выдачи соответствуют матрице A^T , а последние четыре строки соответствуют матрице B^T .

POLICY AND TRANSITION FUNCTIONS

	y	x	g	r	pi	a	e	z
y(-1)	0	0	-1.000	0	0	0	0	0
r(-1)	-2.923	-2.923	-2.923	0.623	-0.764	0	0	0
a(-1)	0.182	0.124	0.182	0.014	0.027	0.947	0	0
e(-1)	5.939	5.939	5.939	-0.385	-1.643	0	0.962	0
eps_r	-2.923	-2.923	-2.923	0.624	-0.764	0	0	0
eps_a	0.193	0.131	0.193	0.015	0.029	1.000	0	0
eps_e	6.171	6.171	6.171	-0.400	-1.708	0	1.000	0
eps_z	0	0	1.000	0	0	0	0	1.000

Следующая секция выдачи Dynare содержит моменты модели, вычисленные с использованием решения модели и специфицированных стандартных ошибок экзогенных шоков.

THEORETICAL MOMENTS

VARIABLE	MEAN	STD. DEV.	VARIANCE
y	0.0000	0.0436	0.0019
x	0.0000	0.0422	0.0018
g	0.0000	0.0186	0.0003
r	0.0000	0.0070	0.0000
pi	0.0000	0.0056	0.0000
a	0.0000	0.1261	0.0159
e	0.0000	0.0044	0.0000
z	0.0000	0.0109	0.0001

Далее Dynare выдаёт разложение дисперсии эндогенных переменных, т.е. долю дисперсии эндогенных переменных, которая может быть приписана экзогенным шокам. Таким образом, для каждой переменной сумма долей по всем четырём шокам равна 100%. Например, для модели Ireland с откалиброванными/оцененными значениями параметров, 47% роста ВВП можно отнести на счёт технологических шоков $\varepsilon_{z,t}$.

VARIANCE DECOMPOSITION (in percent)

	eps_r	eps_a	eps_e	eps_z
y	7.08	8.67	84.25	0.00
x	7.55	2.53	89.91	0.00
g	29.12	20.00	16.69	34.19
r	12.42	45.99	41.60	0.00
pi	29.43	7.03	63.54	0.00
a	0.00	100.00	0.00	0.00
e	0.00	0.00	100.00	0.00
z	0.00	0.00	0.00	100.00

Затем Dynare выдаёт матрицу теоретических корреляций между эндогенными переменными. Эти значения вычисляются на основе ковариационной матрицы эндогенных переменных, которую Dynare не возвращает в командное окно.

MATRIX OF CORRELATIONS

Var	y	x	g	r	pi	a	e	z
y	1.0000	0.9841	0.1407	-0.5297	-0.4875	0.2656	0.9121	0.0000
x	0.9841	1.0000	0.1393	-0.6683	-0.5140	0.0900	0.9422	0.0000
g	0.1407	0.1393	1.0000	-0.1070	0.0608	0.0329	0.0800	0.5847
r	-0.5297	-0.6683	-0.1070	1.0000	0.2581	0.6569	-0.6303	0.0000
pi	-0.4875	-0.5140	0.0608	0.2581	1.0000	0.0561	-0.7689	0.0000
a	0.2656	0.0900	0.0329	0.6569	0.0561	1.0000	0.0000	0.0000
e	0.9121	0.9422	0.0800	-0.6303	-0.7689	0.0000	1.0000	0.0000
z	0.0000	0.0000	0.5847	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

Далее Dynare показывает автокорреляции до пятого порядка, т.е. корреляции эндогенных переменных с собственными лагами p -го порядка, где $p = \{1, \dots, 5\}$.

COEFFICIENTS OF AUTOCORRELATION

Order	1	2	3	4	5
y	0.9398	0.8902	0.8476	0.8099	0.7756
x	0.9454	0.8993	0.8589	0.8226	0.7891
g	-0.0578	-0.0386	-0.0265	-0.0189	-0.0140
r	0.9438	0.8942	0.8493	0.8081	0.7697
pi	0.7871	0.6483	0.5558	0.4925	0.4476
a	0.9470	0.8968	0.8493	0.8043	0.7616
e	0.9625	0.9264	0.8917	0.8582	0.8260
z	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Total computing time : 0h00m13s

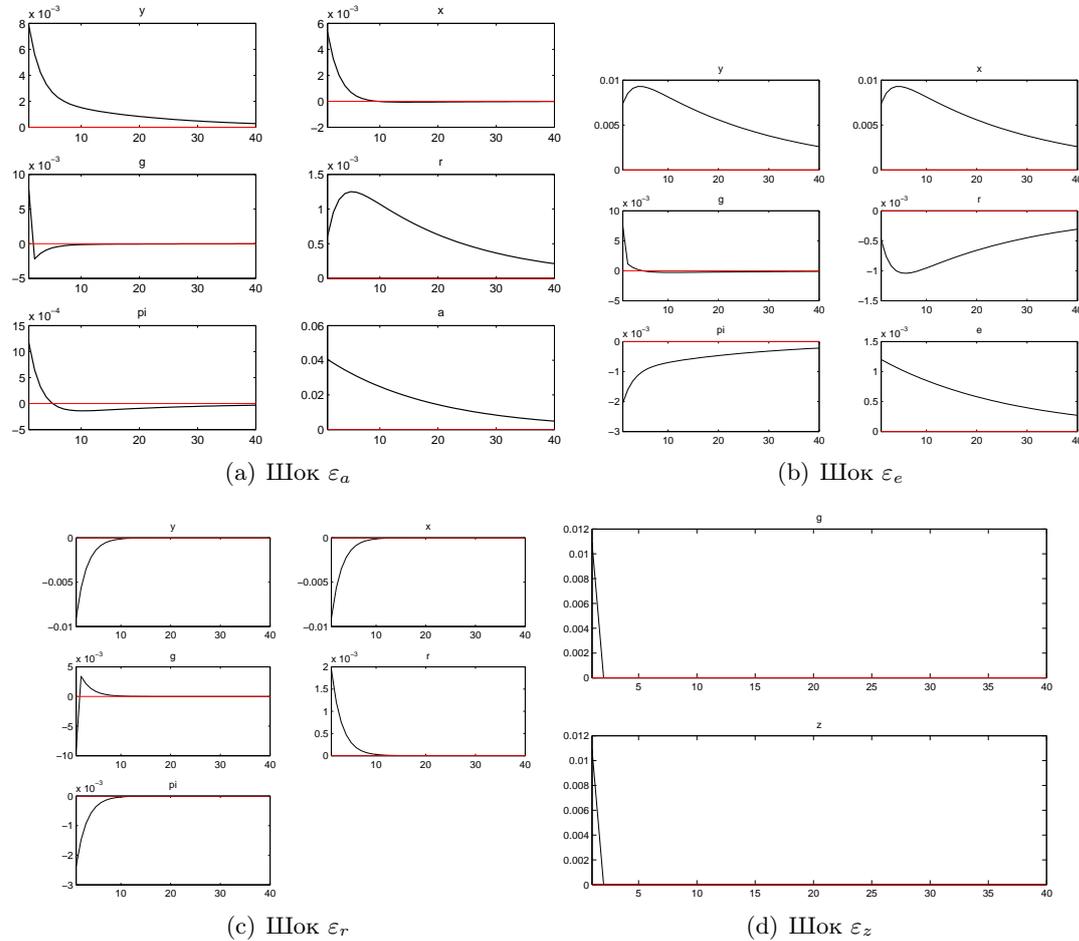
Наконец, Dynare генерирует графики функций импульсного отклика эндогенных переменных на экзогенные шоки. Dynare отфильтровывает функции отклика, незначимо отличающиеся от нуля на области вычисления. В каждом окне рисунка MATLAB будет нарисовано не более 9 графиков импульсных функций; если в модели более 9 эндогенных переменных, Dynare нарисует импульсные отклики сверх 10-го в последующих окнах рисунка MATLAB. Функции импульсного отклика для модели Ireland приведены на Рис. 2. Видно, что количество импульсных откликов соответствует количеству нулевых элементов матрицы B из policy-функции и переходной функции (см. выше).

4 Рабочее пространство MATLAB

В таблице 1 представлена информация о некоторых из переменных, которые Dynare сохраняет в рабочее пространство MATLAB. Вообще говоря, Dynare сохраняет в рабочее пространство все значения параметров и импульсные отклики всех эндогенных переменных на шоки.²

²MATLAB может хранить данные в объектах класса `struct`, состоящих из полей, в которые можно поместить любые объекты MATLAB, например матрицы, строки, структуры и т.д. Чтобы обратиться к полю `field` структуры `struct` из командной строки, наберите `struct.field`. Большая часть выходной информации Dynare хранится в структурах.

Рис. 2: Графики функций импульсных откликов



5 Выдача результатов решения

Необходимо понимать, как Dynare упорядочивает переменные модели в вычисленных матрицах решения (назовём такой порядок DR-порядком, от слов *decision rule*). Dynare отличает эндогенные переменные по их типу, т.е. по отнесению в одну из следующих категорий:

- **Предопределённые переменные:** появляющиеся в модели только в виде текущего значения или лагов. В модели Ireland четыре предопределённых переменных: y , r , a и e . Их количество записывается в `oo_.dr.npred`.
- **Переменные будущих периодов:** появляющиеся в модели только в виде текущего или будущих значений. В модели Ireland две переменные будущих периодов: π и x . Их количество записывается в `oo_.dr.nfwr`.
- **Смешанные переменные:** появляющиеся как в виде текущего значения и лагов, так и в виде будущих значений. Таких переменных в модели Ireland нет. Их количество записывается в `oo_.dr.nboth`.
- **Статические переменные:** появляющиеся в модели только в виде текущего значения. В модели Ireland таких переменных две: g и z . Их количество записывается в `oo_.dr.nstatic`.

Таблица 1: Рабочее пространство MATLAB

Переменная	Описание
<code>oo_.exo_simul</code>	Симулированные серии экзогенных переменных
<code>oo_.endo_simul</code>	Симулированные серии эндогенных переменных
<code>oo_.dr</code>	Информация о переменных и policy-функции
<code>oo_.dr.order_var</code>	Отображение из порядка декларирования в DR-порядок
<code>oo_.dr.inv_order_var</code>	Отображение из DR-порядка в порядок декларирования
<code>oo_.dr.ghx</code>	Матрица A переходной функции (см. раздел 5)
<code>oo_.dr.ghu</code>	Матрица B переходной функции (см. раздел 5)
<code>oo_.steady_state</code>	Равновесные значения эндогенных переменных
<code>oo_.gamma_y{7,1}</code>	Разложение дисперсии из командного окна
<code>oo_.mean</code>	Средние эндогенных переменных
<code>oo_.var</code>	Ковариационная матрица
<code>oo_.autocorr</code>	Автокорреляционные матрицы эндогенных переменных (до 5 лагов)
<code>oo_.irfs</code>	Импульсные отклики эндогенных переменных на экзогенные шоки
<code>oo_.irfs.x_y</code>	Импульсный отклик x на шок в y .
<code>oo_.forecast</code>	Прогнозные значения эндогенных переменных
<code>M_</code>	Структура, содержащая информацию о модели
<code>M_.endo_names</code>	Имена эндогенных переменных в порядке декларирования
<code>M_.exo_names</code>	Имена экзогенных переменных в порядке декларирования
<code>M_.exo_nbr</code>	Количество экзогенных переменных
<code>M_.endo_nbr</code>	Количество эндогенных переменных
<code>options_</code>	Структура, содержащая все опции, распознаваемые Dynare

DR-порядок таков: статические переменные, предопределённые переменные, смешанные переменные, переменные будущих периодов. Отображение из порядка декларирования в секции `var` в DR-порядок определяется в `oo_.dr.order_var`. Обратное отображение определяется в `oo_.dr.inv_order_var`. Обозначим вектор эндогенных переменных за y_t , в котором переменные располагаются в порядке декларирования. Тогда для того, чтобы DR-упорядочить этот вектор, необходимо написать $y_{dr} = y(oo_.dr.order_var, :)$. Чтобы вернуться к порядку декларирования, надо написать $y_{dec} = y_{dr}(oo_.dr.inv_order_var, :)$. Тогда можно убедиться, что y_{dr} совпадает с y_{dec} .

Чтобы понять, для чего нужно упорядочивание, рассмотрим следующее решение:

$$\hat{y}_t = A\hat{y}_{t-1} + Bu_t.$$

Матрица A появляется в `oo_.dr.ghx`, а матрица B — в `oo_.dr.ghu`. Dynare располагает переменные по строкам в порядке декларирования. Столбцы A соответствуют переменным состояния. Отображение этих переменных состояния из порядка декларирования записывается в вектор

$$oo_.dr.order_var(oo.dr.nstatic+1 : oo_.dr.nstatic+oo_.dr.npred)$$

Эти переменные совпадают с лагированными переменными из policy-функции и переходной функции.

Итак, пусть мы хотим вручную вычислить функции импульсных откликов каждой эндогенной переменной на шок в размере одного стандартного отклонения для 20 кварталов,

используя матрицы решения, а затем получить результаты в порядке декларирования. Тогда мы должны написать следующий код. График для ненулевых функций представлен на Рис. 3. Он должен совпадать с графиком на Рис. 2.

```

horizon = 20 ;
shocks  = zeros(M_.exo_nbr,horizon) ;
irf     = zeros(M_.endo_nbr,horizon) ;

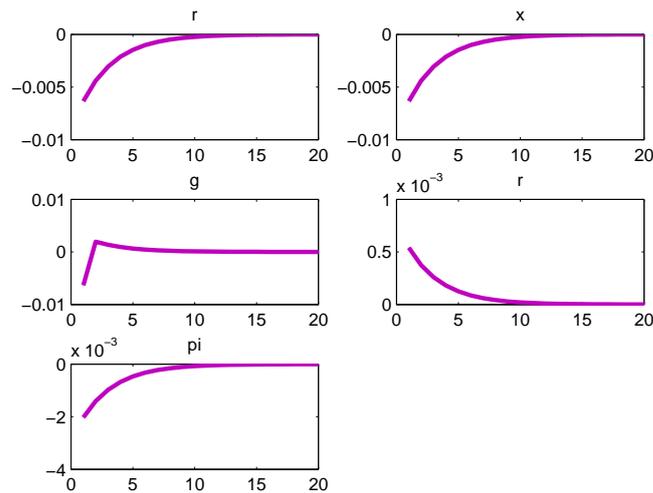
shocks(1,1) = sig_r; % Policy shock in period 1

irf(:,1) = oo_.dr.ghu(oo_.dr.inv_order_var,:)*shocks(:,1) ;

for t=2:horizon
    irf(:,t) = oo_.dr.ghx(oo_.dr.inv_order_var,:) * ...
        irf(oo_.dr.order_var(oo_.dr.nstatic+1:oo_.dr.nstatic+oo_.dr.npred),t-1)+...
end

```

Рис. 3: Графики функций импульсных откликов на шоки политики, вычисленные вручную



6 Некоторые распространённые сообщения об ошибке Dynare

К сожалению, Dynare известен своими неоднозначными сообщениями об ошибках. Вот некоторые распространённые ошибки в написании .mod-файла и соответствующие сообщения об ошибке Dynare. Заметим, что Dynare не улавливает логические ошибки, такие как ошибки при записи системы линейных уравнений в .mod-файл.

6.1 Ошибки парсинга

Как правило, если Dynare сталкивается с ошибкой парсинга, он выдаёт следующее сообщение в командное окно MATLAB:

```

ERROR: ireland.mod:10.1

??? Error using ==> dynare at 126
DYNARE: preprocessing failed

```

В строке `ERROR: ireland.mod:10.1` число 10.1 означает, что ошибка парсинга идентифицирована в строке 10, столбце 1 `.mod`-файла.

Следующая ошибка может появиться, если переменная или параметр не задекларирована в `var [.]`, но появляется в уравнениях модели. Например, здесь пропущена декларация `z`:

```
ERROR: ireland.mod:25.26: Unknown symbol: z
```

Такая ошибка может появиться также когда отсутствует строка `end` ; после описания модели. Если строка `end` ; пропущена после секции `shocks`, то Dynare пытается читать строку `stoch_simul`, которая не согласуется с синтаксисом `shocks` ;, что приводит к следующему сообщению об ошибке:

```
ERROR: ireland.mod:40.1-11: syntax error, unexpected NAME,
expecting CORR or END or VAR
```

Ошибка типа `unexpected NAME` может также возникнуть, если Dynare сталкивается с неизвестной ему опцией, например, опцией `nograp` вместо `nograph`. Такая ошибка может быть также следствием пропуска математического оператора (например, `*`, `-`, `+` или `/`) в декларации уравнений модели или если строки не разделяются символом `;`.

Если в модели больше уравнений, чем задекларированных эндогенных переменных, Dynare выбросит соответствующее сообщение об ошибке:

```
ERROR: There are 7 equations but 8 endogenous variables!
```

6.2 Ошибки декларирования

Если параметру не присвоено значение в `.mod`-файле, появится сообщение об ошибке, которое информирует об успехе парсинга и неудаче в решении модели из-за невозможности построить матрицы, входящие в модель. Это может также произойти из-за опечатки в названии параметра в блоке установки параметров. Например, здесь не присвоено значение переменной `beta`:

```
Warning: Some of the parameters have no value (beta) when using stoch_simul.
If these parameters are not initialized in a steadystate file,
Dynare may not be able to solve the model...
```

```
??? Error using ==> print_info at 36
MJDGGES returns the following error code: 6
```

Если параметрам присваиваются значения, которые не дают единственного равновесия, Dynare сообщает, что не выполнены условия Бланшара–Кана³. Например, присвоим параметрам значения `rho_pi = 0`, `rho_g = 0` и `rho_x = 0`. Тогда политика не соответствует правилу Тэйлора, что означает существование более чем одного равновесного пути. Dynare сообщает:

```
??? Error using ==> print_info at 42
Blanchard Kahn conditions are not satisfied: indeterminacy
```

Условия Бланшара–Кана могут быть не выполнены, если спецификация параметров приводит к отсутствию равновесия. Например, задекларируем авторегрессионный параметр при временном технологическом шоке `rho_a = 1.1`. Тогда любое решение модели будет взрывным, и Dynare сообщит:

```
??? Error using ==> print_info at 39
Blanchard Kahn conditions are not satisfied: no stable equilibrium
```

³Более подробно про равновесия можно прочитать в лекциях Симса.

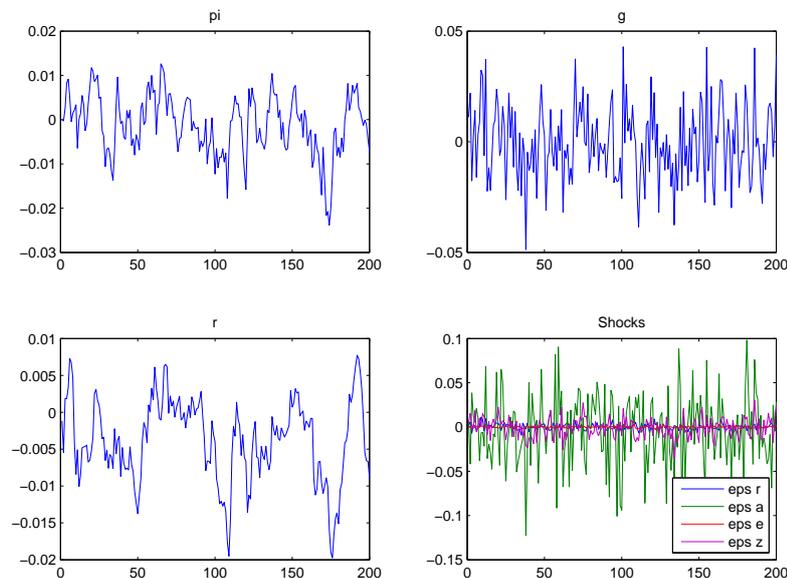
7 Использование Dynare для симуляции данных

Dynare может использовать модель для симуляции рядов эндогенных переменных. Чтобы сгенерировать 200 наблюдений, заменим `stoch_simul` на `stoch_simul(periods=200)`. Dynare сгенерирует 200 шоков экзогенных переменных и использует решение модели для симуляции эндогенных переменных. На Рис. 4 представлены симулированные шоки и симулированные переменные π_t , g_t и r_t . Сопоставьте размеры шоков и заданные значения параметров.

Симулированные эндогенные переменные хранятся в рабочем пространстве под своим именем. Например, в модели Ireland симулированный ряд для инфляции будет храниться под именем `pi`. Симулированные эндогенные переменные также хранятся под именем `endo_simul` в порядке декларирования из `.mod`-файла (т.е. в порядке, заданном `M_ .endo_names`). Симулированные шоки хранятся в `exo_simul` в порядке декларирования (т.е. в порядке, заданном `M_ .exo_names`).

На основе симулированных данных можно вычислить моменты, корреляции и автокорреляции. По умолчанию Dynare игнорирует первые 100 наблюдений, т.е. количество периодов должно быть больше 100. Важно, что новые версии Dynare устанавливают фиксированные начальные значения генератора случайных чисел, поэтому симуляции повторяются, что можно исправить командой `set_dynare_seed(x)`, где `x` — целое число, заданное выше команды `stoch_simul` в `.mod`-файле.

Рис. 4: Симуляции



8 Анализ

Как правило исследователю интересно симулировать множество рядов из одной модели или посмотреть, что происходит с моделью при изменении параметров. Здесь естественно прибегнуть к использованию циклов. В Dynare можно использовать операторы циклов MATLAB вместе с функциями Dynare непосредственно в `.mod`-файле после задания модели.

Пусть, например, необходимо сгенерировать 200 рядов с 200 наблюдениями роста ВВП \hat{g}_t и инфляции $\hat{\pi}_t$ из модели Ireland. Таким образом, нужно запустить `stoch_simul` 200 раз и

сохранить каждый симулированный ряд в столбец матрицы. Это можно сделать следующим образом:

```
for i=1:200
    set_dynare_seed(i);
    stoch_simul( periods=200, noprint, nograph );
    g_sim(:,i) = g;
    pi_sim(:,i) = pi;
end
```

Переменная `i` используется для задания различных начальных условий генератора случайных чисел, а также для индексации матриц `g_sim` и `pi_sim`. На первом шаге переменная цикла принимает значение `i=1`, программа решает модель, симулирует эндогенные переменные на 200 периодов с помощью `stoch_simul` и сохраняет `g` в первом столбце матрицы `g_sim` (аналогично для `pi`). После этого переменная `i` увеличивается на единицу и повторяет те же действия до тех пор, пока не достигнет значения `i=200`. Из соображений скорости исполнения используются опции `noprint` и `nograph` функции `stoch_simul`, подавляющие прорисовку графиков функций импульсных откликов и печать информации о модели в командное окно.

Чтобы пробежать по диапазону возможных значений параметра (при которых решение модели единственно), используется та же техника. Пусть требуется отследить, как функция импульсного отклика инфляции на шок монетарной политики изменяется с издержками на корректировку цен. Иными словами, необходимо проанализировать поведение `pi_eps_a` при изменении значений `psi`, где $\psi = (\theta - 1)/\varphi$, а параметр φ отвечает за издержки на корректировку цен. Определим вектор возможных значений параметра `psi` и используем технику, описанную выше:

```
psi_params = 0:0.05:1;

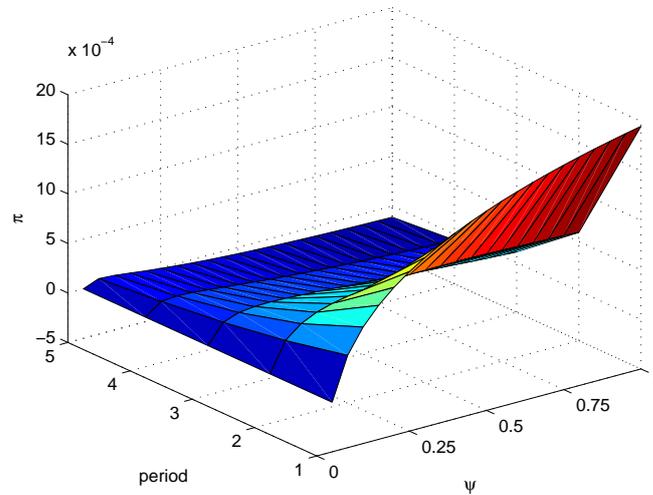
for i=1:length(psi_params)
    psi = psi_params(i);
    stoch_simul(noprint, nograph);
    pi_eps_a_mat(:,i) = pi_eps_a;
end
```

Возможные значения параметра `psi` хранятся в переменной `psi_params`: это множество чисел от 0 до 1 с шагом 0,05, т.е. вектор размерности 1×21 , где `length(psi_params) = 21`. Переменная цикла используется для индексации возможных значений параметра `psi`, а также для обращения к соответствующему столбцу в матрице, хранящей импульсные отклики. Параметр `psi` выбирается из вектора, вызывается функция `stoch_simul`, а затем сохраняется импульсный отклик `pi_eps_a`.

Для выработки интуитивного представления об импульсных откликах, полезно представить эффект изменения параметров с помощью трёхмерного графика. Используем следующую команду MATLAB:

```
>> surf(pi_eps_a_mat(1:5,:)); xlabel('\psi'); ylabel('period'); zlabel('\pi');
```

Исполнение этой команды нарисует каждое значение матрицы, хранящей импульсные отклики по 5 периодам для каждого значения параметра в `psi_params`. Соответствующий график показан на Рис. 5. В терминах модели график показывает, что фирмы имеют большие стимулы к повышению цен в ответ на шок спроса, когда издержки на корректировку малы (т.е. когда `psi` велико).

Рис. 5: Зависимость функции импульсного отклика от ψ 

9 Оценивание модели в Dynare

Dynare можно использовать для оценивания параметров и шоков по данным. В настоящем разделе мы покажем только как оценивать модель на практике. Заметим, что для того, чтобы модель можно было оценить, необходимо, чтобы размер выборки не превышал количество шоков в модели. Подробную информацию по оцениванию содержит файл *resources/Dynare-UserGuide-WebBeta.pdf*.

9.1 Метод максимального правдоподобия

Чтобы оценить модель методом максимального правдоподобия, сначала нужно сообщить, какие переменные модели наблюдаемы. Это делается командой `varobs VAR ;`. Модель Ireland разумно оценивать на основе роста ВВП, инфляции и процентной ставки:

```
varobs g pi r;
```

Далее, специфицируем параметры, которые хотим оценить, в блоке `estimated_params`. Всем неоцениваемым переменным необходимо присвоить значение в секции установки параметров `.mod`-файла. В блоке `estimated_params` каждому оцениваемому параметру нужно задать начальное значение и, возможно, границы: соответствующий синтаксис `parameter, initial value [, lower bound, upper bound] ;`, где в квадратные скобки взяты необязательные части кода. Спецификация стандартных ошибок шоков аналогична: необходимо только добавить команду `stderr` перед экзогенной переменной.

Полностью блок `estimated_params` выглядит так:

```
estimated_params ;
  rho_a, 0.9, 0, 1 ;
  rho_e, 0.9, 0, 1 ;
  omega, 0.1, 0, 1 ;
  rho_pi, 0.4 ;
  rho_g, 0.3 ;
  rho_x, 0.05 ;
  stderr eps_a, 0.1, 0, 1 ;
  stderr eps_e, 0.1, 0, 1 ;
```

```

    stderr eps_z, 0.1, 0, 1 ;
    stderr eps_r, 0.1, 0, 1 ;
end ;

```

Наконец, нужно вызвать функцию оценивания, указав Dynare путь к файлу с данными:

```
estimation(datafile=data) ;
```

9.2 Байесовское оценивание

В байесовском подходе для каждого оцениваемого параметра специфицируется априорное распределение. Как и в случае метода максимального правдоподобия, укажем сначала наблюдаемые переменные:

```
varobs g pi r;
```

В блоке `estimated_params` для каждого оцениваемого параметра декларируем распределение и специфицируем параметры распределения. Синтаксис: `parameter, prior_shape, prior_μ, prior_σ [, p_3] [, p_4]`; В таблице 2 приведён список распределений и их параметров для декларирования в Dynare:

Таблица 2: Байесовские априорные распределения

Спецификация <code>prior_shape</code>	Распределение
<code>normal_pdf</code>	$N(\mu, \sigma)$
<code>gamma_pdf</code>	$G(\mu, \sigma, p_3)$
<code>beta_pdf</code>	$B(\mu, \sigma, p_3, p_4)$
<code>inv_gamma_pdf</code>	$IG(\mu, \sigma)$
<code>uniform_pdf</code>	$U(p_3, p_4)$

Эти распределения имеют очень разные формы и могут сильно зависеть от параметров. В качестве иллюстрации приведём Рис. 6 с пятью распределениями и различными параметрами. Чтобы посмотреть на зависимость формы распределения от параметров, откройте файл `Mathematica_resources/distributions_mathematica.nb` (при наличии у вас лицензии Mathematica). При оценивании важно тщательно подобрать форму априорного распределения параметров.

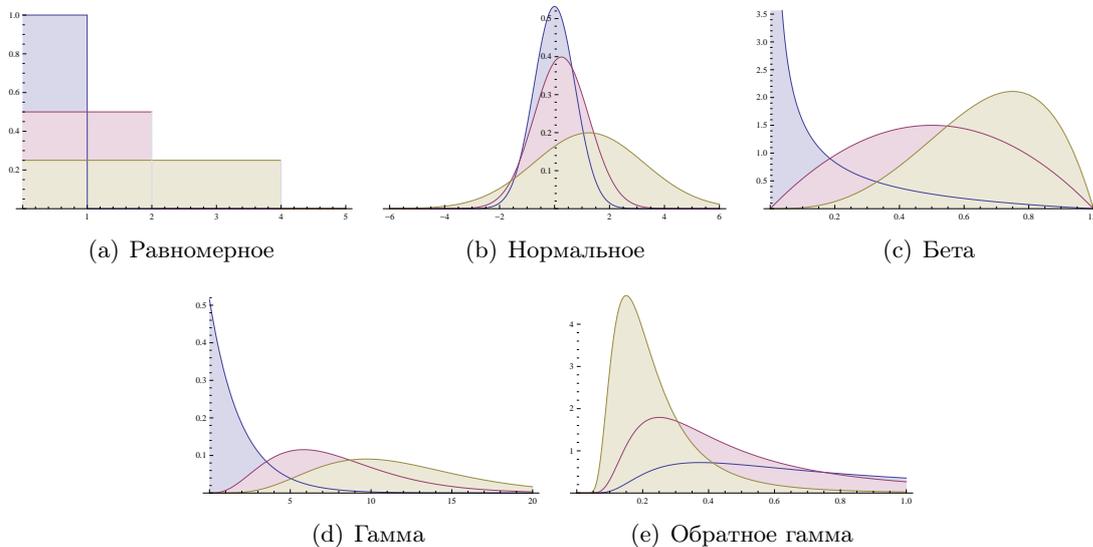
Проиллюстрируем декларирование распределений на примере модели Ireland. Заметим, что дополнительные запятые нужны команде `uniform_pdf` для спецификации третьего и четвёртого моментов.

```

estimated_params ;
    rho_a, beta_pdf, 0.7, 0.1 ;
    rho_e, beta_pdf, 0.7, 0.1 ;
    omega, normal_pdf, 0.1, 0.025 ;
    rho_pi, normal_pdf, 0.4, 0.1 ;
    rho_g, normal_pdf, 0.4, 0.1 ;
    rho_x, normal_pdf, 0.1, 0.05 ;
    stderr eps_a, uniform_pdf, , , 0, 0.1 ;
    stderr eps_e, uniform_pdf, , , 0, 0.1 ;
    stderr eps_z, uniform_pdf, , , 0, 0.1 ;
    stderr eps_r, uniform_pdf, , , 0, 0.1 ;
end ;

```

Рис. 6: Распределения



Наконец, вызовем функцию оценивания так же, как в случае метода максимального правдоподобия: `estimation(datafile=data);`. Для байесовского оценивания доступно множество опций; обзор опций см., например, в папке *resources/Dynare_Manual.pdf*.

9.3 Выдача результатов в рабочем пространстве

Результаты оценивания сохраняются в структуре `oo_` в рабочем пространстве. Описание некоторых полей этой структуры приведено в Таблице 3.

Таблица 3: Рабочее пространство MATLAB: результаты оценивания

Переменная	Описание
<code>oo_.posterior_mode</code>	Апостериорные стандартные ошибки параметров и шоков
<code>oo_.posterior_std</code>	Апостериорные стандартные ошибки оценок
<code>oo_.posterior_density</code>	Апостериорная плотность (значения x, y) для каждого параметра
<code>oo_.prior_density</code>	Априорная плотность (значения x, y) для каждого параметра
<code>oo_.SmoothedVariables</code>	Оценки эндогенных переменных всех периодов
<code>oo_.SmoothedShocks</code>	Оценки шоков всех периодов

9.4 Декомпозиция шока

Оценивание даёт набор структурных шоков, которые обычно представляют особый интерес. Команда `shock_decomposition` позволяет лучше понять, что представляют собой эти шоки. Она раскладывает динамику каждой эндогенной переменной модели на шоки. Иными словами, динамика каждой эндогенной переменной представляется в виде комбинации шоков модели, а команда `shock_decomposition` вычисляет вклад каждого шока в динамику каждой переменной. Команда вызывается строкой

```
shock_decomposition ;
```

10 Прогнозирование в Dynare

На основании решения модели Dynare может строить прогнозы. После команды `stoch_simul` наберите команду

```
forecast ;
```

Некоторые опции: `periods = x` вычисляет прогнозы на x периодов, `nograph` подавляет рисовку графиков. Эти опции совпадают с опциями команды `stoch_simul`, поэтому если они не специфицированы, то используются опции команды `stoch_simul`.

Результаты прогноза хранятся в `oo_.forecast.Mean`. Если переменные не симулированы, команда `forecast` просто генерирует прогноз, равный равновесным значениям переменных. Если же переменные симулированы, как в разделе 8, за начальный период прогнозирования берётся первый период симуляций.

11 Другие полезные команды

11.1 Сохранение данных в .m-файл

Если необходимо сохранить вектор или матрицу в скрипт MATLAB (.m-файл), можно использовать команду Dynare `datatomfile()`. Она может быть полезна, если, скажем, для оценивания модели мы хотим использовать симулированные данные. Например, исполняя следующую строку кода, Dynare сохранит три вектора симулированных данных `g`, `pi`, и `r` в файл `data.m` в рабочей папке:

```
datatomfile('data',{'g';'pi';'r'}) ;
```

11.2 Язык макросов Dynare: включение дополнительного кода в .mod-файл

Dynare умеет интерпретировать команды, написанные на языке макросов Dynare, преобразовывая .mod-файл с макросами в .mod-файл без макросов, который затем читается стандартным образом. Это полезно для автоматизации повторяющегося кода в .mod-файле или автоматической подстановке текста в .mod-файл.

В любом месте кода Dynare можно использовать команду `@#include x.mod`. Эта команда добавляет содержимое файла `x.mod` в файл Dynare. Файл `x.mod` должен соответствовать обычным требованиям к языку Dynare. Одно из применений данной команды — изменение структуры зарубежного сектора в модели маленькой открытой экономики. Мы написали функцию (файл) `MATLAB`, которая записывает уравнения из .mod-файла, описывающие векторную авторегрессию (VAR), оценённую для разного количества лагов и на разных выборках. Этот .mod-файл добавляется к первичному .mod-файлу с помощью команды `include`; остальное содержимое первичного .mod-файла при этом не затрагивается.

Чтобы сконструировать .mod-файл с авторегрессией, запишем сначала уравнения в виде строки. Затем зададим имя файла и откроем его с уровнем доступа `wt`, что означает возможность записи текста в файл. Далее, напечатаем строку в файл с опцией `%s`, что означает запись текста как строки. В конце закроем файл.

```
VAR = ( 'y = rho11*y(-1) + rho12*x(-1) + e_y ; ', ...
        'x = rho21*y(-1) + rho22*x(-1) + e_x ; ' ) ;

filename = 'WORLD.mod' ;           % Choose filename
fid1     = fopen(filename, 'wt') ; % Open the file
```

```
fprintf(fid1, '%s', VAR) ;           % Print to the new file
fclose(fid1) ;                       % Close the file
```

Теперь необходимо включить содержимое файла `WORLD.mod` в набор уравнений первичного `.mod`-файла, что осуществляется следующими командами:

```
model (linear) ;
#include "WORLD.mod"
```

Переменные и параметры, упоминаемые во включаемом файле, должны быть задекларированы в верхних строках `.mod`-файла стандартным образом, что также можно осуществить с помощью команды `@#include`.

Одно из важных применений команды `@#include` — это записывание оцененных значений параметров в `.mod`-файл и присваивание этих значений параметрам в `.mod`-файле. Таким образом, не приходится вписывать оценки параметров в `.mod`-файл вручную. Пусть, например, написан `.m`-файл, обращающийся к файлу `dynare ireland_estimation.mod`. Тогда можно написать скрипт, который записывает параметры как строки в `.mod`-файл `parameters.mod`, а затем использовать команду `@#include parameters.mod` в блоке задания значений параметров файла `ireland.mod`. Такой скрипт позволяет автоматически анализировать несколько моделей.

Наконец, опция `savemasro` позволяет сохранить `.mod`-файл с макросами: сохранённый таким образом `.mod`-файл `filename.mod` получит имя `filename-macroexp.mod`.

11.3 Генерирование L^AT_EX из Dynare

В Dynare встроены функции для записывания уравнений модели и оцененных параметров в файл L^AT_EX. Для того, чтобы сообщить Dynare, какие переменные L^AT_EX использовать, необходимо задать L^AT_EX-представление для каждой переменной и каждого параметра в блоке декларирования с помощью двойного символа доллара, например:

```
parameters beta $\beta$, omega $\omega$, psi $\psi$, ...
```

После декларирования L^AT_EX-эквивалентов для переменных и параметров, в конце кода модели Dynare, необходимо использовать команду

```
write_latex_dynamic_model ;
```

для создания `.tex`-файла с именем `MODELNAME_latex_dynamic.tex`, где `MODELNAME` — имя `.mod`-файла. Этот `.tex`-файл можно скомпилировать или использовать его в другом файле L^AT_EX.

12 Эмпирическое приложение: графические модели DSGE

Используем теперь изложенную технику на практике. В настоящем приложении мы используем линейризованные уравнения модели Ireland (2004) для получения кривых совокупного спроса и предложения, связывающих инфляцию и рост ВВП. Представление модели в таком виде позволяет изучить механизмы DSGE в знакомой постановке.⁴

⁴ Данное эмпирическое исследование базируется на работе Kulish & Jones (2011), которая доступна на странице ideas.repec.org/p/cpm/dynare/003.html наряду со всеми файлами Dynare и MATLAB, данными, результатами оценивания и документацией.

12.1 Кривые совокупного спроса и предложения

Линеаризованные уравнения, в которых инфляция и рост ВВП выражены в уровнях (а не в отклонениях от равновесных значений), имеют вид:

$$\hat{x}_t = E_t \hat{x}_{t+1} - (\hat{r}_t - E_t \hat{\pi}_{t+1}) + (1 - \omega)(1 - \rho_a) \hat{a}_t, \quad (9)$$

$$\pi_t = \pi + \beta E_t \hat{\pi}_{t+1} + \psi \hat{x}_t - \hat{e}_t, \quad (10)$$

$$\hat{r}_t = \hat{r}_{t-1} + \rho_\pi \hat{\pi}_t + \rho_g \hat{g}_t + \rho_x \hat{x}_t + \varepsilon_{r,t}, \quad (11)$$

$$\hat{x}_t = \hat{y}_t - \omega \hat{a}_t, \quad (12)$$

$$g_t = g + \hat{y}_t - \hat{y}_{t-1} + \hat{z}_t, \quad (13)$$

$$\hat{a}_t = \rho_a \hat{a}_{t-1} + \varepsilon_{a,t}, \quad (14)$$

$$\hat{e}_t = \rho_e \hat{e}_{t-1} + \varepsilon_{e,t}, \quad (15)$$

$$\hat{z}_t = \varepsilon_{z,t}, \quad (16)$$

где, в отличие от формы записи линеаризованных уравнений выше по тексту, π есть логарифм равновесной инфляции, а g — логарифм равновесного роста ВВП.

Преобразуем уравнения для получения функций совокупного спроса и предложения, связывающих инфляцию и рост ВВП. Чтобы найти функцию совокупного предложения, подставим уравнения (12) и (13) в соотношение (10) и получим

$$\pi_t = \psi g_t + \hat{s}_t + (\pi - \psi g), \quad (17)$$

где $\hat{s}_t = \beta E_t \hat{\pi}_{t+1} + \psi \hat{y}_{t-1} - \psi \hat{z}_t - \omega \psi \hat{a}_t - \hat{e}_t$. В пространстве роста ВВП и инфляции (g_t, π_t) уравнение (17) представляет инфляцию как линейную функцию роста ВВП с наклоном ψ и свободным членом $\hat{s}_t + (\pi - \psi g)$. Заметим, что изменяющийся во времени свободный член \hat{s}_t равен нулю, когда экономика находится на пути сбалансированного роста. Также отметим, что наклон кривой зависит от номинальной жёсткости цен: при $\psi \rightarrow \infty$ цены становятся абсолютно гибкими, что даёт вертикальную кривую совокупного предложения. Обратно, при росте издержек корректировки цен, $\psi \rightarrow 0$, кривая совокупного предложения становится всё более полой.

Чтобы получить кривую совокупного спроса, подставим уравнения (11), (12) и (13) в соотношение (9). Тогда

$$\pi_t = -\frac{1+\rho_g+\rho_x}{\rho_\pi} g_t + \hat{d}_t + \pi + \frac{1+\rho_g+\rho_x}{\rho_\pi} g, \quad (18)$$

где $\hat{d}_t = -\frac{1}{\rho_\pi} \hat{r}_{t-1} + \frac{1}{\rho_\pi} E_t \hat{x}_{t+1} + \frac{1}{\rho_\pi} E_t \hat{\pi}_{t+1} - \frac{1+\rho_x}{\rho_\pi} \hat{y}_{t-1} + \frac{1+\rho_x}{\rho_\pi} \hat{z}_t + \frac{\omega(1+\rho_x)+(1-\omega)(1-\rho_a)}{\rho_\pi} \hat{a}_t - \frac{1}{\rho_\pi} \varepsilon_{r,t}$. Заметим, что так же как и в случае изменяющегося во времени свободного члена в функции совокупного предложения, \hat{d}_t равен нулю, когда экономика находится на пути сбалансированного роста. Наклон кривой (18) зависит от параметров политики. Более сильная реакция на отклонение инфляции от целевого уровня ρ_π делает кривую более полой. Более сильная реакция на рост ВВП ρ_g и разрыв ВВП ρ_x , напротив, делает кривую более крутой.

12.2 Добавление кривых в Dynare

Уравнения модели записываются в `.mod`-файл. Полезно добавить в них переменные, сдвигающие кривые совокупного спроса \hat{d}_t и совокупного предложения \hat{s}_t . Тогда, чтобы нарисовать кривые, можно будет использовать результаты выдачи Dynare по этим переменным, а также параметрам и равновесным значениям. Итак, добавим в созданный ранее `ireland2004.mod`-файл две эндогенных переменных `adt` и `ast`:

$$\begin{aligned} \text{ast} &= \beta * \pi(+1) + \psi * y(-1) - \psi * z - \omega * \psi * a - e; \\ \text{adt} &= 1/\rho_{\pi} * x(+1) + 1/\rho_{\pi} * \pi(+1) - (1+\rho_x)/\rho_{\pi} * y(-1) - \dots \\ & 1/\rho_{\pi} * r(-1) + (1+\rho_x)/\rho_{\pi} * z + \dots \\ & ((\omega * (1+\rho_x) + (1-\omega) * (1-\rho_a))/\rho_{\pi}) * a - (1/\rho_{\pi}) * \text{eps}_r; \end{aligned}$$

12.3 Оценивание на данных по США

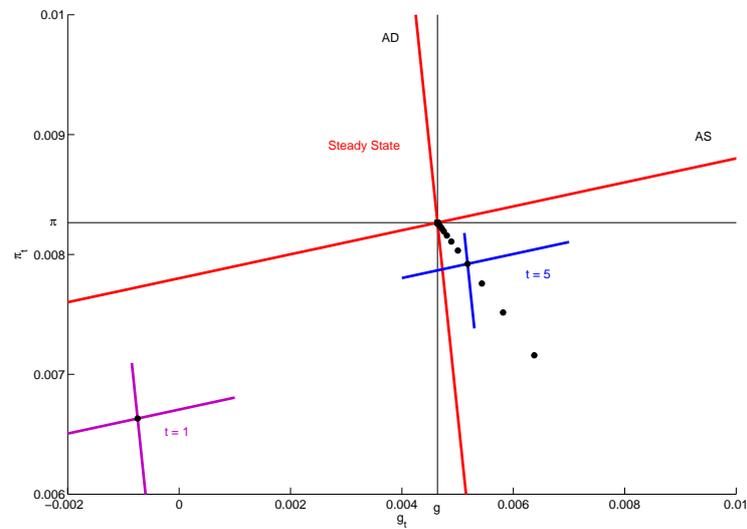
Для построения оцененных кривых совокупного спроса и предложения нужны оценки параметров модели. Мы следуем подходу Ireland (2004) с новыми данными. Калибровка даёт значения $\beta = 0,99$, $\psi = 0,1$ и $\omega = 0,06$. Оценка остальных параметров и соответствующие стандартные ошибки приведены в таблице 4. Из-за сильной оцененной реакции короткой процентной ставки на изменения роста ВВП и разрыва ВВП по сравнению с реакцией инфляции оценка наклона кривой совокупного спроса невелика: $-\frac{1+\rho_g+\rho_x}{\rho_{\pi}} = -4,4$. Кривая совокупного предложения получается довольно пологой из-за малого значения $\psi = 0,1$, что объясняет, почему в модели велик эффект шоков совокупного спроса.

Таблица 4: Оценки метода максимального правдоподобия

Параметр	Оценка	Стандартная ошибка
ρ_a	0,9489	0,0224
ρ_e	0,9470	0,0393
ρ_{π}	0,2885	0,0404
ρ_g	0,2090	0,0451
ρ_x	0,0679	0,0177
σ_a	0,0365	0,0122
σ_e	0,0008	0,0002
σ_z	0,0120	0,0015
σ_r	0,0026	0,0003

Как было замечено, в пространстве роста ВВП и инфляции динамику экономики можно описать пересечением кривых совокупного спроса и предложения в каждый момент времени. Шок сдвигает меняющиеся во времени свободные члены \hat{s}_t и \hat{d}_t . С течением времени положение кривых возвращается к равновесному. Таким образом, например, шок к $\varepsilon_{r,t}$ в размере одного стандартного отклонения приводит к значениям $\hat{s}_t = -0,001$ и $\hat{d}_t = -0,026$. Обе кривые движутся одновременно, что служит иллюстрацией важного факта: в анализе общего равновесия наличие ожиданий приводит к тому, что шоки одновременно сдвигают кривые совокупного спроса и предложения \hat{d}_t и \hat{s}_t . В период шока монетарной политики увеличение \hat{r}_t приводит к снижению совокупного спроса в силу коррекции уровня потребления агентами. Помимо этого агенты ожидают отрицательного разрыва ВВП в следующем периоде и инфляцию ниже равновесной, что, в силу уравнения Эйлера, ещё сильнее снижает совокупный спрос. Что касается предложения, то оно увеличивается из-за падения инфляционных ожиданий: так как фирмы несут издержки на корректировку цен, то при фиксированном объёме выпуска у них есть стимулы снижать цены сегодня.

Проиллюстрируем кривые и их динамику после шока монетарной политики в пространстве роста ВВП и инфляции. На Рис. 7 представлены кривые совокупного спроса и предложения в равновесном состоянии, в период шока монетарной политики ($t = 1$) и четыре периода спустя ($t = 5$). Видно, что после шока совокупный спрос снижается, а совокупное предложение увеличивается по сравнению с равновесными уровнями. Также показано, как сдвигаются кривые при возвращении экономики в равновесное состояние.

Рис. 7: Кривые совокупного спроса и предложения: шок ε_r 

Приложение: файл ireland.mod

```

var y, x, g, r, pi, a, e, z ;
varexo eps_r, eps_a, eps_e, eps_z ;
parameters beta, omega, psi, rho_pi, rho_g, rho_x, rho_a, ...
           rho_e, sig_r, sig_z, sig_a, sig_e ;

beta   = 0.99 ;   rho_pi = 0.3597 ;   rho_a  = 0.9470 ;
sig_e  = 0.0012 ; psi     = 0.1      ;   rho_x  = 0.0347 ;
rho_e  = 0.9625 ; sig_z  = 0.0109 ;   omega = 0.0617 ;
rho_g  = 0.0000 ; sig_a  = 0.0405 ;   sig_r  = 0.0031 ;

model (linear) ;
    x = x(+1) - ( r - pi(+1) ) + ( 1 - omega ) * ( 1 - rho_a ) * a ;
    pi = beta * pi(+1) + psi * x - e ;
    r = r(-1) + rho_pi * pi + rho_g * g + rho_x * x + eps_r ;
    x = y - omega * a ;
    g = y - y(-1) + z ;
    a = rho_a * a(-1) + eps_a ;
    e = rho_e * e(-1) + eps_e ;
    z = eps_z ;
end ;
steady ;
shocks ;
    var eps_a = sig_a^2 ;
    var eps_e = sig_e^2 ;
    var eps_z = sig_z^2 ;
    var eps_r = sig_r^2 ;
end ;
stoch_simul ;

```

Список литературы

Ireland, P. (2004). Technology shocks in the New Keynesian model. *Review of Economics and Statistics* 86, 923–936.

Kulish, M. & C. Jones (2011). A Graphical representation of an estimated DSGE model. *Dynare Working Paper Series*, номер 3.

A practical introduction to DSGE modeling with Dynare

Callum Jones

New York University, New York, USA

Mariano Kulish

University of New South Wales, Sydney, Australia

This document is a practical introduction to Dynare. It shows how to install Dynare and write a DSGE model in Dynare notation, and goes through the output from running the model, where output is stored in the Matlab workspace, as well as common Dynare errors. We use Dynare to do some useful analysis. We briefly discuss estimation and forecasting using Dynare. The document closes with a research application.