

ISBN 978-5-91601-126-5

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ИМ. А.А. ДОРОВНИЦЫНА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Н.Н. ОЛЕНЁВ, Р.В ПЕЧЁНКИН, А.М. ЧЕРНЕЦОВ

**ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ В
МАТЛАВ И SIMULINK С ПРИЛОЖЕНИЯМИ К
МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭКОНОМИКИ**



ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ИМ. А.А. ДОРОВНИЦЫНА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
МОСКВА 2015

УДК 512.643 + 519.86

Ответственный редактор
член-корр. РАН И.Г. Поспелов

Монография посвящена вопросам использования распределенных и параллельных вычислений в среде MATLAB[©] и Simulink[©]. Изложена технология настройки кластера для использования MATLAB. Приведены основные изменения в программной реализации средств создания и отладки параллельных программ. Показано применение платформы Simulink как среды для разработки динамических экономических моделей. На примере задачи идентификации системы показана процедура определения параметров эндогенной модели роста экономики России (с применением технологии распределенных вычислений). Приведены результаты сценарного моделирования. Монография будет полезна как пользователям компьютерных систем, так и исследователям экономистам. Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (номер проекта 14-11-00432).

Ключевые слова: параллельные вычисления, MATLAB, Simulink, модель экономики России, идентификация.

Рецензенты: В.В. Дикусар,
А.В. Арутюнов

Научное издание

©Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Вычислительный центр им. А.А. Дородницына Российской академии наук, 2015

©Н.Н. Оленев, Р.В. Печенкин, А.М. Чернецов

Оглавление

Введение	5
I. Администрирование и конфигурирование	15
1.1. Основные обновления и изменения	15
1.2. Пакет параллельных вычислений	22
1.2.1. Режим <code>rmode</code>	22
1.2.2. Режим <code>matlabpool</code>	25
1.2.3. Объектный режим при создании параллельных задач	31
II. Моделирование экономических систем в среде имитационного моделирования Simulink	37
2.1. Реализация модели экономики с производственной функцией CES в среде Simulink	38
2.2. Базовые понятия и объекты Simulink	40
2.3. Управление моделью	46
2.4. Анализ сценарных и фактических данных	48
III. Идентификация эндогенной производственной функции	53
3.1. Распределение производственных мощностей	58

3.2.	Моделирование износа производственных мощностей в среде Simulink	61
3.2.1.	Реализация блоков износа и фондоемкости в Simulink	67
3.3.	Производительность	71
3.3.1.	Загрузка производственных мощностей трудом	72
3.4.	Формализация модели и ее идентификация	75
3.4.1.	Идентификация системы	77
3.4.2.	Результаты идентификации	78
3.4.3.	Оптимальность идентификации	83
3.4.4.	Использование Simulink в различных режимах параллельных вычислений	88
3.4.5.	Сценарные расчеты	98
	Заключение	110

Введение

Компьютерные технологии бурно развиваются. Теоретически производительность квантовых компьютеров, например, может достигать квадрильона операций в секунду. Однако есть и трудности в развитии. Не все новые технологии быстро удается освоить. Производительность современных процессоров достигла потолка, поэтому производители, привыкшие работать в условиях удвоения производительности компьютеров за два года, стали использовать параллельные и распределенные технологии не только в суперкомпьютерах, но и в пользовательской технике.

В условиях свершившегося перехода производителей процессоров к многоядерным архитектурам параллельное программирование становится насущным инструментом каждого продвинутого программиста и научного исследователя. Стандартом де-факто параллельного программирования является интерфейс передачи сообщений (MPI), но освоить его удается не всем. Поэтому создатели математических пакетов программ, среди которых MathWorks[©], озаботились внедрением параллельных и распределенных вычислений в свои пакеты. Для осуществления технических вычислений в параллельной среде часто выбирают пакет MATLAB, поскольку он популярен и дружелюбен к

пользователю.

Популярность MATLAB необычайно высока, поскольку он является мощным и универсальным пакетом обработки многомерных данных. Сама структура пакета делает его удобным средством для проведения матричных вычислений. Спектр проблем, исследование которых может быть осуществлено при помощи MATLAB, не ограничен, он охватывает, в частности, матричный анализ, обработку сигналов и изображений, нейронные сети, научные исследования.

MATLAB — это язык высокого уровня с открытым кодом. Встроенный язык программирования позволяет легко создавать собственные алгоритмы. За много лет использования MATLAB создано огромное количество функций и Toolbox (пакетов специализированных средств), включая теперь и программные средства высокоскоростных параллельных и распределенных вычислений.

Одним из довольно самостоятельных приложений к пакету MATLAB является программа Simulink. При использовании Simulink модель строится по принципу визуального программирования, когда пользователь на экране из библиотеки стандартных блоков создает модель динамической системы и осуществляет расчеты. Доступ к функциям MATLAB и другим его инструментам, включая параллельные, остается открытым и их можно использовать в Simulink.

Наше решение продолжить начатые в монографии [1] исследования по применению параллельных вычислений в MATLAB вызвано не только техническими причинами (изменились параллельные средства и технологии в пакете MATLAB), но и рядом неформальных обстоятельств,

среди которых можно выделить три основных:

1. Повышенный интерес читателей к первой нашей совместной работе по параллельному программированию в MATLAB [1] (на данный момент число цитирований в РИНЦ достигло девятнадцати, а число скачиваний превысило двадцать тысяч).
2. Получены новые результаты исследования динамической модели эндогенного роста экономики России [2-4] и ее множеств идентификации [4-7].
3. В списке приоритетных технологий, поддерживаемых Правительством России, стоят параллельное программирование и моделирование комплексных систем (см., соответственно, пп. 20 и 41 распоряжения Правительства РФ [8] «О порядке осуществления иностранных инвестиций в хозяйственные общества»), имеющие стратегическое значение для обеспечения обороны страны и безопасности государства.

Монография [1] была первой публичной работой, посвященной вопросам использования распределенных и параллельных вычислений в среде MATLAB. Технология апробирована на стандартных задачах линейной алгебры. Был предложен промышленный подход идентификации математических моделей сложных систем на основе параллельных средств MATLAB. Подход рассмотрен на примере простейшей динамической модели экономики современной России, что позволяет освоить его большому числу потенциальных пользователей. Дана экономическая интерпретация полученным результатам идентификации модели и ее использования в сценарных расчетах.

После девальвации курса доллара в результате дефолта 1998 г. начался рост валового внутреннего продукта (ВВП), который продолжался и в год издания монографии [1] (2007). Однако соответствующие факторы производства – труд и капитал – согласно данным статистики практически не менялись. Это поставило вопрос о причинах роста. С помощью высокопроизводительной техники и параллельных вычислений в MATLAB решена задача идентификации простейшей модели экономики по данным России 2000-2006 гг. Определен эффективный капитал, реально используемый в производстве, рост которого и определял рост ВВП. Оказалось, однако, что рост капитала обусловлен по большей части не новыми инвестициями, а вовлечением старых производственных фондов, доставшихся нашей экономике от советских времен. Но их источник не безграничен. Он иссякнет.

В результате применения предложенной техники идентификации параметров модели экономики России получен важный побочный результат. Найдена оценка времени окончания процесса вовлечения незагруженных производственных мощностей в конце 2008 г., т.е. получен прогноз кризиса российской экономики 2008 г., который связан с внутренними проблемами исчерпания резерва производственных мощностей, созданных еще в советское время. Несмотря на грубость модели прогноз оказался точным. Кризис мировой экономики совпал по времени, однако из развивающихся стран БРИКС только российская экономика испытала такой значительный спад. Таков был базовый (пессимистический) сценарий развития российской экономики, рассмотренный в [1].

Для полноты картины был рассмотрен и оптимистиче-

ский сценарий развития российской экономики. Оптимистический сценарий построен из предположения, что начнется рост на основе научно-технического прогресса, на основе замены старых советских производственных фондов на новые, более производительные, на основе сокращения времени от получения заказа до его оплаты. Формально это можно выразить повышенной отдачей на используемые факторы производства. К сожалению, такой рост сам собой не начнется, а соответствующие экономические механизмы лицами, принимающими решения, не были задействованы до сих пор.

Устойчивость прогнозирования на модели экономики зависит от качества идентификации модели. Вопрос об устойчивости прогнозирования был исследован в 2010-2015 гг. на идентифицированной модели типа Рамсея с помощью разработанного в ВЦ РАН оригинального метода множеств идентификации [5, 7]. В методе множеств идентификации исследуются многомерные график и над-график функции ошибок, а также поведение этого множества в окрестности оптимальных параметров. Визуализация множества идентификации позволяет исследователю выбирать параметры модели, сочетая результаты наблюдений с собственным неформализованным опытом. Неустойчивость решения задачи идентификации модели может приводить к принципиально разным прогнозам при кризисных изменениях в экономике [5, 6].

Критерием качества идентификации служит минимизация некоторой выбранной свертки ошибок идентификации. Визуализация множеств идентификации для указанной модели показала, что небольшой сдвиг по параметрам начальной точки дает совершенно разные траектории раз-

вития экономической системы, то есть спад экономики не является неизбежным. Ручное управление здесь дает возможность сдвига состояния экономики в положение, которое обеспечивает устойчивый экономический рост.

Использованная в [1, 5, 7] модель экономики не дает возможности однозначно ответить на вопрос, по какому сценарию будет развиваться экономика России. Можно только сделать вывод, что дальнейшее развитие существенно зависит от экономической политики, которая будет проводиться в ближайшее время. Если не предпринимать никаких усилий, то рост за счет вовлечения старых фондов скоро прекратится. Если экономическая политика будет основываться на использовании достижений научно-технического прогресса, то возможен благоприятный прогноз. Итак, одним из результатов анализа устойчивости прогнозирования по множествам идентификации для модели экономики типа Рамсея является вывод о возможности перехода за счет продуманных решений из неустойчивого положения к режиму экономического роста.

Значит, надо продолжать исследование российской экономики с помощью математических моделей, описывающих возможность структурных изменений [2]. В [2] показано, что для описания идущих в экономике России процессов надо строить математические модели с дифференцированными по возрасту производственными фондами.

Итоги исследовательско-преподавательской работы по применению MATLAB при изучении параллельного программирования были изложены в работах [9-11].

Дальнейшее исследование задачи идентификации экономики России и методическая работа по вопросам параллельного программирования продолжены в работах [7, 12].

Задача идентификации модели экономики типа Рамсея по данным России [1] используется в качестве образца в задачах идентификации подобных моделей по статистическим данным других стран в домашних, курсовых и выпускных работах студентов МФТИ(ГУ), РУДН и ВятГУ [7, 13-15].

Применение функционала параллельного программирования в MATLAB также нашло отражение в работе [16], изданной в рамках серии «Суперкомпьютерное образование». В этой работе представлены вопросы разработки технологий программного обеспечения, такие как текущий статус, приложения и параллельные алгоритмы, программное обеспечение и программные инструменты, языки и компиляторы, вычислительные среды и визуализация расчетов.

Отдельно стоит упомянуть проект использования параллельного функционала MATLAB на кластере «Уран» института математики и механики им. Н.Н. Красовского (ИММ УрО РАН) см. [17]. На сайте этого института приведена краткая инструкция по использованию параллельного MATLAB, даны примеры параллельной программы, ее запуска и применения параллельного профилирования.

Порядок изложения материала в настоящей работе напоминает работу [1]. Как и прежде, изложение начинается с первоначального знакомства с основополагающими объектами MATLAB, позволяющими настроить среду исполнения параллельных и распределенных программ. В рамках первой главы приводятся примеры простейших программ для параллельного исполнения.

Вторая глава посвящена реализации средствами Simulink экономической модели, рассмотренной нами в работе [1]. Такой выбор обусловлен желанием расширить

необоснованно узкий круг книг на русском языке, которые посвящены практическим примерам использования Simulink в экономических исследованиях. Здесь, кроме работы И.Ф. Цисаря [18], процитировать в общем-то нечего. Из работ, изданных на английском языке, стоит упомянуть [19], содержащую примеры финансовых моделей, реализованных в Simulink. Связано это, по нашему мнению, с тем, что за Simulink прочно закрепился статус эталонной среды для моделирования динамических систем технической направленности, что в какой-то мере отпугивает потенциальных пользователей, работающих над социально-экономическими моделями. В то же время, работая над моделями, описанными в данной книге, мы ловили себя на мысли, что язык Simulink очень напоминает язык DYNAMO, изобретенный и используемый Д. Форрестером [20].

Третья глава посвящена описанию и идентификации экономической модели, основанной на учете дифференциации производственных фондов по моментам создания. Основой служит математическая модель производственной функции, представимой распределением производственных мощностей по технологиям [21]. В [21] производственная мощность и ее технология (трудоемкость) определяются в момент создания и медленно меняются с возрастом по заданному закону. Решая задачу построения модели российской экономики и ее идентификации на реальных статистических данных, мы старались сопроводить изложение примерами технической реализации с использованием как MATLAB, так и Simulink. При этом методы параллельного и распределенного программирования были специально применены нами в задаче идентификации

параметров модели конкретной экономики, чтобы наглядным образом продемонстрировать применимость средств распределенных вычислений при решении практической (“не лабораторной”) задачи.

Задачи, решаемые известными мировыми исследователями в прикладных областях экономики [22], а также исследователями, работающими в глобальных инвестиционных банках [23-25], несомненно являются ресурсоемкими в вычислительном плане (о чем эти исследователи сами говорят в своих работах¹. Тот факт, что в своих работах они не раскрывают своих моделей и не указывают технических средств их реализации, не говорит о том, что в решении своих задач они не используют многопроцессорную архитектуру для прироста производительности.

Сценарные расчеты, приведенные нами в заключительном разделе (стр. 98), показывают возможные траектории развития (в рамках рассматриваемой модели) суммарной производственной мощности экономики России, обе траектории являются достижимыми (достижимыми в том смысле, что обе являются следствием воздействия на систему

¹Лоренс Котликофф: “Создание и настройка динамической имитационной модели жизненного цикла требует большой работы, на которую обычно уходит целый год или даже больше. Программный код, которым можно наполнить небольшую книжку, нужно тщательно проверить.. И хотя сегодняшние мощные компьютеры работают поразительно быстро, на вычисления могут потребоваться дни, потому что модели должны нащупать траекторию перехода к новому общему равновесию (считаем необходимым напомнить читателям, что Л. Котликофф был привлечен в качестве эксперта к пенсионной реформе, проводимой Правительством РФ)”.

Автор акронима БРИК Джим О’Нил использует в своей модели восемнадцать переменных (в индексе GES - Global Environment Score).

определенных управляющих параметров), при этом одна из траекторий есть формализация на уровне модели так называемых «майских указов» Президента РФ В.В. Путина, подписанных им в мае 2012 г. [26].

Основная часть работы по представленному здесь исследованию была выполнена в период 2013-2014 гг., поэтому анализ эффекта вхождения новых субъектов в состав России ни на уровне анализа статистических данных, ни на уровне оценки влияния взаимных санкций, последовавших за этими событиями, не был проведен и не нашел отражения в исследовании рассмотренной модели, но несомненно эти события могут и должны являться темой отдельного исследования.

I. Администрирование и конфигурирование

Данный раздел построен по структуре аналогичным образом, что и соответствующий раздел нашей первой работы [1], и содержит в себе перечень основных обновлений в программной реализации параллельных вычислений в MATLAB. Здесь описаны также приемы, которые помогут пользователям оптимальным образом запускать необходимые службы, создавать объекты, управлять кластером, исключив проблемы, связанные с операционной системой.

Цель данного раздела – описать принципиальную схему работы двух пакетов MATLAB, которые реализуют технологию распределенных и параллельных вычислений.

1.1. Основные обновления и изменения

В 2005 г. для того, чтобы занять определенный сегмент рынка инженерного программного обеспечения, предназначенного для программирования распределенных задач, компанией MathWorks были разработаны и вы-

пущены на рынок два новых продукта под названием **Distributing Computing Toolbox (DCT)** и **MATLAB Distributing Computing Engine (MDCE)**. На момент появления эти два пакета расширений нельзя было рассматривать отдельно друг от друга, и применялись они только в связке. Оба эти toolbox изначально были предназначены для решения одной задачи – увеличения производительности (сокращения времени счета) при использовании нескольких компьютеров, объединенных в сеть, вместо одного. Однако с момента выхода [1] произошли некоторые изменения в функционалах данных пакетов.

Прежде всего, начиная с версии **MATLAB 2007b**, компания **Mathworks** переименовала toolbox, отвечающие за возможности параллельного программирования: вместо **Distributing Computing Toolbox** и **MATLAB Distributing Computing Engine** они получили новые названия: **Parallel Computing Toolbox** и **MATLAB Distributing Computing Server**. По мнению авторов, это было сделано, вероятно, в маркетинговых целях для выделения в функционале направленности параллельного программирования. Во-вторых, было снято требование совместного использования тулбоксов. Теперь для многоядерных систем с числом ядер до четырех не требовалось приобретать лицензию на **MDCS**. Далее, после выхода **MATLAB R2009b** количество ядер было увеличено до восьми, а по мере развития вычислительной техники это число было еще увеличено. Более подробная информация представлена далее в данной главе. Документация по обоим пакетам в части инсталляции и настройки в настоящее время объединена.

Также необходимо отметить возможность запуска ра-

бочих процессов MATLAB на клиентской рабочей станции, используя локальный планировщик; важным ограничением, однако, является максимальное количество запускаемых рабочих процессов. В таблице ниже приведены сравнительные характеристики различных версий.

Версия	Число рабочих процессов	Соответствие с характеристиками процессоров
2006B	1	одноядерные системы
2007A	4	четырёхъядерные
2009A	8	двухпроцессорные четырёхъядерные
2011B	12	двухпроцессорные шестиядерные
2014A	не ограничено	по умолчанию задается число физических ядер процессора

При использовании промышленного кластера в качестве MATLAB клиента может выступать любой компьютер, подключенный к сети и имеющий доступ к кластеру, для scheduler обычно выделяют один из узлов кластера, на всех остальных узлах кластера можно запустить по одному процессу. Запускать на одном узле несколько процессов имеет смысл только в случаях, когда узел многопроцессорный либо многоядерный. Ниже на рис.1 приведена официальная блок-схема, иллюстрирующая логику, положенную в основу функционирования Parallel Computing Toolbox.

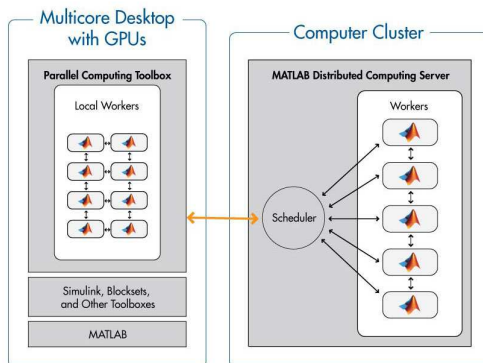


Рис. 1. Две технологические реализации механизма распределенных вычислений

Следует отметить, что несмотря на то, что на официальной диаграмме MathWorks в левой части блок-схемы на рис. 1 (Parallel Computing Toolbox) отсутствует изображение планировщика, в действительности он запускается автоматически, и именно планировщик осуществляет взаимодействие рабочих процессов, запущенных на ядрах локальной станции.

На странице MathWorks [27] представлены некоторые функции MATLAB, параллелизм которых реализован на уровне самих функций и не требует оптимизации.

В силу того, что промышленные многопроцессорные системы не доступны широкому кругу пользователей, а также в силу того, что за последние годы многоядерные настольные системы получили достаточно широкое распространение, считаем целесообразным начать знакомство

с технологией параллельных вычислений именно с пакета Parallel Computing Toolbox (левая часть рис. 1).

Отсутствие необходимости настраивать кластер и создавать объекты делает Parallel Computing Toolbox незаменимым для целей первоначального знакомства¹.

Требования к аппаратному и программному обеспечению

Аппаратная платформа (общие требования):

- Для некоторых типов лицензий FlexLm Manager версии 11.1.1.12 (поставляется вместе с MATLAB).
- В случае использования Flexlm требуется применение протокола TCP/IP на всех платформах использующих сервер лицензий.
- Для лицензий, использующих аппаратный ключ, требуется наличие USB порта.

Минимальные требования к объему оперативной памяти и дисковому пространству изложены в таблице ниже.

Параметр	Минимум	Рекомендовано
Дисковое пространство	1 Гб	3-4 Гб
Оперативная память	1 Гб на ядро	2 Гб на worker

Минимальное дисковое пространство 460 Мб требуется для инсталляции ядра и справочной системы.

Для 32-битной архитектуры возможна работа на следующих микропроцессорах фирм Intel и AMD:

¹Все примеры в данной работе выполнены на ноутбуке: Intel(R) Core™ M480 @2.67 GHz, ОЗУ 8ГБ, под управлением ОС Windows 7 Professional и на Apple MacBook Pro 13 Mid 2013, Core i5, ОЗУ 8ГБ.

Фирма	Микропроцессор
Intel	Любой МП с поддержкой набора инструкций SSE2
AMD	Любой МП с поддержкой набора инструкций SSE2

Для 64-битной архитектуры можно использовать микропроцессоры: EM64T у Intel, AMD64 у AMD.

Macintosh: любой Intel-Based Mac с процессором Intel Core 2 и более поздних версий.

Операционная система:

- Для Windows – Windows XP SP3/2003 R2 SP2/Vista SP2/Windows 7/8/8.1.
- Для Linux – начиная с ядра версии 2.6.x и GLIBC 2.11.
- Для Solaris – начиная с версии R2010b не поддерживается.
- Для Macintosh – Intel-Based Mac OS X 10.7.4 (Lion), 10.7 (Mountain Lion), 10.8 (Mavericks).

Минимальные требования к характеристикам системы для работы Parallel Computing Toolbox изложены в таблице ниже.

Параметр	Минимум	Рекомендовано
Дисковое пространство	10 Гб	15 Гб
Оперативная память	1 Гб на ядро	2 Гб на worker

Общие требования к аппаратной платформе и операционной системе определены. Это позволяет запускать ядро MATLAB.

Для обеспечения бесперебойной работы сервисов пакета параллельных вычислений рекомендуем на время работы выключить брандмауэр Windows, хотя уже версия R2011B позволяет настраивать брандмауэр таким образом чтобы не прерывать исполнение соответствующих функций пакета.

Дополнительно стоит отметить, что при использовании Win 7 home premium раньше возникали проблемы, связанные с запуском служб, из-за отсутствия полноценных прав администратора. После обновления системы до выпуска Professional эти проблемы исчезли.

Все дальнейшие работы, связанные с настройкой кластера, проводились уже под учетной записью администратора.

Требования к MPI

MATLAB R2014a поставляется с реализацией MPI-2 [28] mpich2 v. 1.4.1p1. Вместо стандартной библиотеки можно подключить собственную реализацию MPI. Для этого она должна удовлетворять следующим условиям:

- Быть собранной как динамическая библиотека.
- Иметь заголовочный файл mpi.h, полностью совместимый с mpich2.

Более подробно о подключении собственных реализаций MPI можно прочитать в документации MathWorks [29].

1.2. Пакет параллельных вычислений

1.2.1. Режим `pmode`

Самое первое знакомство с параллельными вычислениями рекомендуем начинать с интерактивного режима `pmode`. Данный режим запускает окно приложения, в котором пользователь в командной строке может вводить команды, которые будут исполняться одновременно всеми сессиями (рабочими), причем приложение реализовано таким образом, что каждое окно, по сути, есть окно просмотра пространства переменных рабочих.

Следующая команда запускает режим `pmode` с двумя рабочими процессами.

```
>> pmode start local 2
```

Результатом исполнения данной команды будет окно приложения (см. рис.2). Следует отметить, что несмотря на то, что пользователь в явном виде не указывает имя планировщика, хост-имена, где должны быть запущены рабочие процессы, MATLAB по умолчанию запускает предопределенный планировщик. После выполнения данной команды в списке процессов диспетчера задач Windows помимо имени процесса, отвечающего за работу локальной сессии MATLAB, будут показаны еще два системных процесса MATLAB, по умолчанию объем оперативной памяти, зарезервированный под данные процессы – 100 Мбайт (механизм изменения параметров запускаемых процессов не изменился и производится через изменение файла настройки).

Запуск команды `pmode` с параметром числа рабочих, отличного от двух, вызовет ошибку с предложени-

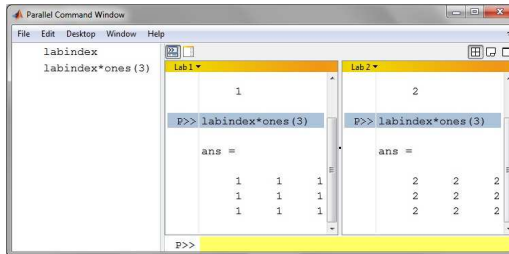


Рис. 2. Окно приложения запускаемое в режиме `pmode`

ем настроить конфигурационный файл. Настройка конфигурационных файлов теперь может быть осуществлена с помощью специальных GUI, расположенных в меню `Parallel` панели инструментов. Так, например, выбрав команду `Parallel-> Configurations Manager -> local`, можно определить число рабочих, запускаемых при старте конфигурации `local` (Number of workers available for scheduler (cluster size), допустим 4). Теперь выполнение команды:

```
>> pmode start local
```

приводит к запуску консоли `pmode` с четырьмя рабочими процессами.

Несмотря на продвижения в плане удобства конфигурирования и просмотра текущих статусов кластера авторы продолжают считать режим `pmode` своего рода “просмотрщиком” рабочего пространства (пространства переменных) рабочих процессов. Выполнять большие с точ-

ки зрения листинга программы в таком режиме крайне затруднительно. Однако исключительно для целей иллюстрации работы некоторых функций `mpi` (таких, как `labindex`, `numlabs`, `labBroadcast`) данный режим является достаточно иллюстративным. Так, например, на рис. 2 приведен пример исполнения каждым рабочим двух команд:

```
>> labindex,  
>> labindex*ones(3).
```

Выполнение следующей команды в консоли `pmode`

```
>> A=labindex*ones(3)
```

создает соответствующие переменные `A` в сессиях рабочих. Для копирования переменных из пространств рабочих в рабочую область локальной сессии `MATLAB` нужно воспользоваться командой `pmode lab2client A 1` (где `1` - номер рабочего). Для копирования переменных из локальной сессии в сессии рабочих используется функция `client2lab`, ввод данной функции также осуществляется в локальном командном окне:

```
>> pmode client2lab X 1:2,
```

где `X` – переменная, определенная в локальной сессии, `1:2` – диапазон индексов рабочих, в сессии которых должна быть скопирована переменная.

После окончания работы в режиме `pmode` необходимо окончить сессию, введя команду: `>>pmode close` в локальной сессии, в противном случае при повторном запуске режима возникнет сообщение об ошибке.

1.2.2. Режим matlabpool

Более высокоуровневым с точки зрения разработки и отладки параллельных программ является режим matlabpool. Данный режим так же, как и rmode, запускает кластер с предопределенными параметрами на локальной машине, однако общение с кластером (рабочими процессами) производится не через консоль, позволяющую вводить команды только через командную строку, а через привычный каждому пользователю MATLAB редактор m-файлов.

Запуск режима matlabpool производится аналогичным с rmode образом (за исключением того, что команда запуска указывается в m-файле сценария). Однако сам по себе запущенный режим matlabpool не позволяет обращаться к ресурсам кластера. Для этой цели служит команда spmd (от англ. Single Program Multiple Data) – конструкция – одна программа, много данных (входных и выходных).

Общий вид файла-сценария для работы с кластером посредством режима matlabpool выглядит следующим образом:

```
matlabpool
spmd
    statements
end
matlabpool close,
```

где внутри окружения spmd содержатся выражения, которые будут выполняться каждым рабочим.

Использование `mpi` функций в режиме `matlabpool`

Даже при наличии в пакете параллельных вычислений большого количества функций, режимов, объектов, облегчающих работу математиков – программистов по ускорению решения широкого спектра задач, не следует забывать, что в первую очередь отличительной особенностью данного пакета является возможность использования функций `mpi`, именно навыкам работы с этими функциями будут посвящены следующие разделы.

В разделе, посвященном режиму `pmode`, был приведен пример использования `mpi` функции `labindex`, эта функция так же, как и функция `numlabs`, – функция-примитив. Без функций-примитивов использование параллельных технологий вычислений просто невозможно. В режиме `matlabpool` становится возможным работать с более сложными `mpi` функциями, такими как `labSend`, `labReceive`, `labProbe`.

Задача о «жонглировании» переменными: система состоит из двух рабочих процессов, рабочий 1 создает некую матрицу $A1$, рабочий 2 в конечном цикле переопределяет матрицу $A2$.

Необходимо написать программу, выполняющую перечисленные ниже задачи.

1. Рабочий 1 должен отправить матрицу $A1$ рабочему 2 после того, как тот закончит цикл.
2. Рабочий 2 должен отправить матрицу $A2$, полученную на финальной итерации, рабочему 1.

3. После окончания программы жонглирования необходимо удостовериться, что в пространстве переменных `рабочего 1` определена матрица `A2`, а в пространстве переменных `рабочего 2` определена матрица `A1`.

При написании процедур с использованием `mpi` функций следует помнить, что файл-программа будет исполняться рабочими одновременно на нескольких процессорах (`spread` логика), эта особенность автоматически приводит к тому, что структура файл-программы должна отличаться от обычной линейной, последовательной программы.

Листинг файла сценария `juggling1.m`

```
1 matlabpool(2)
2 %%
3 spmd
4     if labindex==1
5         A1=ones(2);
6         labSend(A1, 2);
7         data_from_2_lab=labReceive(2);
8     else
9         for i=1:10^5
10            A2=rand(2);
11        end
12        labSend(A2, 1);
13        data_from_1_lab=labReceive(1);
14    end
15 end
16 %%
17 matlabpool close
```

Программа `juggling1.m` выполняет сформулированную выше задачу. Прокомментируем ее структуру. Строки 1, 17 открывают параллельную сессию и закрывают ее. Структура `if else` разделяет программу на две ветви первого и второго рабочего процесса. Следует отметить, что если рабочих процессов, участвующих в решении задачи много, то распределить задачу между ними довольно легко с помощью структуры `for i=1:numlabs`.

Как указано в задаче, **рабочий 1** после создания матрицы `A1` отправляет ее **рабочему 2** с помощью команды `labsend` (строка 6). При этом следует помнить, что если в программе стоит команда `labsend`, то где-то должна сто-

ять команда `labrecieve` (в нашем случае это строка 13). Второй рабочий переопределяет матрицу `A2`, после чего отправляет ее рабочему 1 (строка 12), рабочий 1 принимает матрицу `A2` (строка 7).

Результатом выполнения данной программы сценария будут четыре переменные, определенные в локальной сессии, а именно `A1`, `A2`, `data_from_1_lab`, `data_from_2_lab` и `i`. Тип этих переменных – `composite`, данный тип переменных появился начиная с версии 2007b и представляет из себя, по сути, ссылочный тип данных. Следующие команды выполнены в локальной сессии.

```
>> data_from_2_lab
data_from_2_lab =
    Lab 1: class = double , size = [2  2]
    Lab 2: No data
>> data_from_2_lab{1}
ans =
    0.8993    0.4407
    0.4037    0.6615
>> data_from_2_lab{2}
Error using Composite/subsref (line 67)
An invalid indexing request was made
Caused by:
    Error using Composite/subsref
    >iCheckValuesExist (line 86)
    The Composite has no value on the
    following lab(s): 2 .
```

Сообщение об ошибке при обращении к переменной `data_from_2_lab{2}` вполне обоснованно, так как переменная с таким именем в пространстве имен рабочего 2

не определена. Таким образом, тип данных composite, по сути, представляет из себя ссылки на переменные с одинаковыми именами во всех сессиях рабочих.

Остается открытым вопрос №3 задачи о «жонглировании», а именно надо убедиться, что в пространстве переменных рабочего 1 определена матрица A2, а в пространстве рабочего 2 определена матрица A1.

На данный вопрос ответ можно получить, воспользовавшись доступом к переменным рабочих, посредством ссылочного типа данных composite, а можно просто раскомментировать выражение (удалить оператор ;) в строках 7 и 13.

На достаточно простом примере (не имеющем под собой прикладной задачи) были продемонстрированы базовые приемы: разделения задачи на разные рабочие процессы, отправка/получение сообщений.

Вопросы, которые логично могут возникнуть при реализации данной задачи:

1. Очевидно, что рабочий 1 быстрее рабочего 2 достигает строки программы, к которой он отправляет переменную A1 (в момент отправки переменной, очевидно, что рабочий 2 еще выполняет в цикле переопределение матрицы), в связи с чем возникает вопрос, что физически происходит с отправленной переменной A2?
2. Прием переменной A1 в сессии второго рабочего происходит только на строке 13. Если перенести строку с приемом на уровень выше, чем начало цикла, уменьшит ли это общее время выполнения задачи? Снизит ли это транзакционные издержки, вызван-

ные тем, что переменная $A1$ не может быть перемещена в пространство второго рабочего и на время исполнения цикла вынуждена находиться в промежуточном пространстве между рабочими.

3. И, наконец, третий вопрос, существуют ли функции `mpi`, позволяющие «пинговать» (тестировать) некоторому рабочему состояние другого рабочего? Проверить выполняет ли он какие-либо вычисления или простаивает и, следовательно, ему можно послать сообщение с данными. Насколько трудоемок данный процесс, насколько оправданы затраты времени на такое тестирование занятости?

1.2.3. Объектный режим при создании параллельных задач

Ниже будет описан ряд процедур, необходимых для конфигурирования кластера, и затем будут продемонстрированы процедуры создания параллельных задач посредством объектного программирования. Методологически раздел, посвященный запуску кластера и настройке соответствующих служб планировщиков, можно было вынести перед разделами `pmode` и `matlabpool`, так как запуску данных режимов предшествует запуск планировщика, рабочих, объединенных в кластер в автоматическом режиме (без непосредственного участия пользователя). Однако при такой последовательности представления информации, как нам кажется, у пользователей может возникнуть ощущение, что параллельное программирование в MATLAB сопряжено с большими трудностями по настройке и конфигурированию кластера, что на самом деле не

так. Именно поэтому материал, посвященный службам, планировщикам, рабочим, объединен нами в разделе объектного программирования параллельных задач.

Настройка кластера

Ниже будет рассмотрен сквозной пример по настройке кластера на четырехъядерном ноутбуке. С момента выхода первого релиза пакетов для параллельных и распределенных задач парадигма (концепция) функционирования кластера существенно не поменялась. С точки зрения MathWorks кластер на основе MATLAB должен выглядеть следующим образом (см. рис.1).

Локальный планировщик

Служба `mdce` необходима для запуска в ней (вообще говоря, для восприятия удобно понимать под службой `mdce` некую среду) планировщиков и рабочих; если по какой-то причине произошел сбой в работе планировщика, то служба восстановит его резервную копию с сохраненными настройками (с ассоциированными с ним рабочими снова). Именно так была реализована технология создания кластера в первых релизах. Текущая версия 2014В позволяет, используя `Parallel Computing toolbox`, создавать кластер на локальной многоядерной станции без использования службы `mdce`.

Для запуска локального кластера достаточно выбрать в главном меню режим `Parallel` и в разделе `Select Configuration` выбрать `local`. В разделе `Manage Configuration` необходимо указать количество задействованных рабочих, ассоциированных с планировщиком (в на-

шем сквозном примере это 4). Ключевой и самой важной особенностью планировщика local является то, что он существует “внутри” клиентской сессии MATLAB (см рис.3) и не требует наличия запущенной службы mdce на локальной станции.

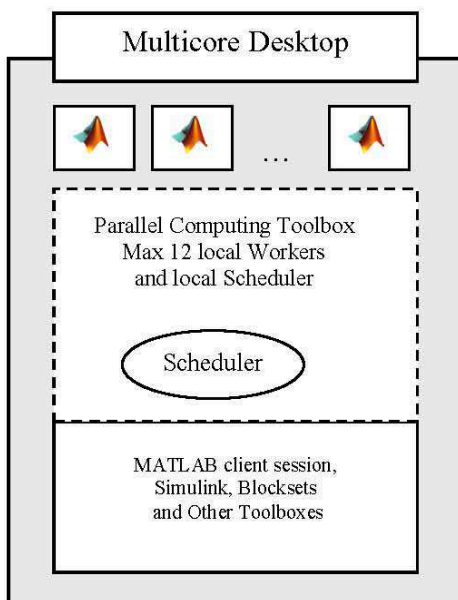


Рис. 3. Схема кластера реализованного на локальной рабочей станции

При создании и отправке параллельной задачи на счет планировщик local запускает то количество рабочих процессов, которое пользователь определил для данной за-

дачи и в момент отправки активирует необходимое число системных процессов MATLAB. В этом объектный режим работы с кластером несколько отличается от режима `matlabpool`, где запускаемые командой `matlabpool(n)` рабочие существуют (отображаются в диспетчере задач) до тех пор, пока не поступает команда прервать данный режим `matlabpool close`.

По сути, минимальная настройка кластера может быть выполнена через меню `Manage Configuration`.

Будем считать, что минимальный кластер с четырьмя рабочими процессами на нашем ноутбуке запущен. Возможность работы кластера с указанным количеством узлов проверяется кнопкой `start validation`, результаты прогонки показаны на рис.4.

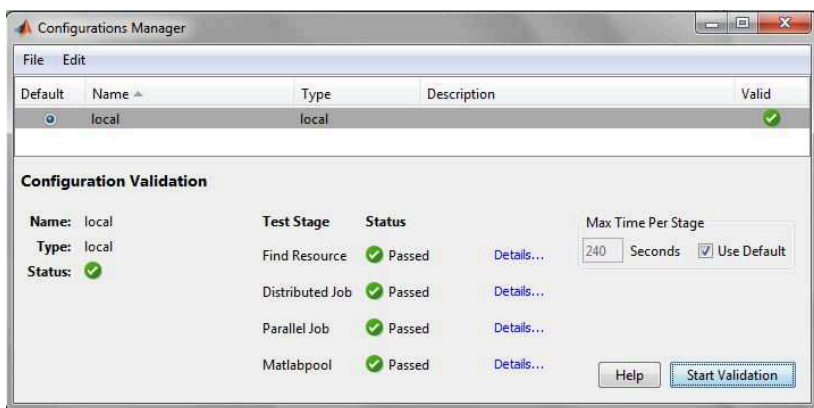


Рис. 4. Результат прогонки локального кластера

Иерархия объектов и последовательность их создания

Первым в иерархии объектов пакета параллельных вычислений стоит планировщик, именно через него посредством его свойств и методов происходит общение с рабочими процессами. Универсальная команда `findResource` возвращает ссылку на системный процесс локального планировщика:

```
>> all_managers =
findResource('scheduler','type','local')
Local Scheduler Information
=====
                Type : local
      ClusterOsType : pc
        ClusterSize : 2
      DataLocation  : C:\Users\
                    \AppData\MathWorks
                    \MATLAB\local_scheduler_data\R2011b
      HasSharedFilesystem : true
- Assigned Jobs
      Number Pending  : 0
      Number Queued   : 0
      Number Running  : 0
      Number Finished : 1
- Local Specific Properties
      ClusterMatlabRoot : Y:\R2011B
```

Планировщик целесообразно рассматривать как некий инструмент (конструктор) для создания новых объектов - задач (параллельных или распределенных).

Из-за трудностей перевода у русскоязычных читателей может возникнуть ошибочное восприятие названий объектов, речь идет об объекте `Task` и дочернем ему объекте `Job`. Дословный перевод обоих терминов подразумевает некую вычислительную задачу. Однако в концепции иерархии объектов MATLAB данным терминам приписывается разная смысловая нагрузка.

Начиная с версии R2012a (см. [30]) произошло переименование привычных к тому времени названий.

Старое наименование	Наименование с R2012a
MathWorks job manager	MATLAB job scheduler (MJS)
Third-party or local scheduler	Common job scheduler (CJS)
Configuration	Profile
Scheduler	Cluster

В основном перешли от отдельных функций к объектно-ориентированному представлению, и все стало методами и свойствами класса `Parallel`. Например, управление кластером “переехало” в `parallel.cluster.xxx`, управление заданиями – в `parallel.job`, рабочие процессы – в `Parallel.cluster.xxx`.

II. Моделирование экономических систем в среде имитационного моделирования Simulink

В предыдущей работе [1], посвященной параллельным вычислениям в MATLAB и их приложениям, мы рассмотрели открытую модель российской экономики типа Рамсея, в которой производство единственного однородного продукта описывается производственной функцией с постоянной эластичностью замещения (CES-функцией). Реализация модели и ее идентификация были произведены в среде MATLAB, в этой же среде были проведены сценарные расчеты на основе идентифицированной системы.

В настоящей работе предлагается не просто сравнить полученные результаты с фактическими результатами, достигнутыми экономикой России за последние три года, а реализовать задачу сценарных расчетов по уже идентифицированной модели (разд. 3.3 [1]) на основе платформы имитационного моделирования Simulink. Это потребует реализации, создания модели на языке (посредством

блоков) Simulink.

Таким образом, мы, во-первых, заново представим описание модели в несколько иной форме, во-вторых, обсудим базовые приемы моделирования в среде Simulink, что в свою очередь понадобится нам в следующей главе, в которой приведена модифицированная модель с учетом динамики износа основных фондов, задействованных в экономике (Vintage Capital Model). Идентификация модифицированной модели, реализованной на платформе Simulink, будет проведена уже с использованием параллельных вычислений соответствующего пакета.

2.1. Реализация модели экономики с производственной функцией CES в среде Simulink

В базовом варианте модели экономики из работы [1] ВВП $Y(t)$ определяется однородной производственной функцией с постоянной эластичностью замещения (CES-функцией) следующего вида (2.1)-(2.5).

Производственная функция (верхний уровень системы) задается следующим соотношением:

$$Y(t) = Y_0 \left[a \left(\frac{L(t)}{L_0} \right)^{-b} + (1 - a) \left(\frac{K(t)}{K_0} \right)^{-b} \right]^{-\frac{1}{b}}, \quad (2.1)$$

где Y_0, L_0, K_0 – значения соответственно выпуска (ВВП), труда и капитала в 2000 г., а $0 < a < 1, b > -1$ – параметры производственной функции CES для российской экономики.

Динамика роста народонаселения определена по статисти-

ке эконометрической формулой

$$L(t) = 64.84e^{0.01124(t-2000)}. \quad (2.2)$$

Взаимосвязь эффективного капитала и инвестиций задана обычным макроэкономическим уравнением

$$K_{t+1} = (1 - \mu)K_t + J_t, K(0) = K_0. \quad (2.3)$$

Динамика импорта, экспорта, инвестиций и потребления связаны с динамикой выпуска эконометрическими соотношениями, полученными при анализе статистики 2000-2006 гг.:

$$\begin{aligned} E_t &= \frac{\delta Y_t}{\pi_t^E}, \\ I_t &= \frac{\rho(1-\delta)Y_t}{\pi_t^I}, \\ J_t &= \frac{\sigma(1+\rho(1-\delta))Y_t}{\pi_t^J}, \\ Q_t &= ((1 - \sigma)(1 + \rho(1 - \delta)) - \delta)Y_t \end{aligned} \quad (2.4)$$

при относительных индексах цен на экспорт, импорт и инвестиции, заданных следующими ниже эконометрическими соотношениями:

$$\begin{aligned} \pi_E(t) &= a_E + (1 - a_E)e^{-b_E(t-2000)}, \\ \pi_I(t) &= 1 - a_I(t - 2000)^2 e^{-b_I(t-2000)}, \\ \pi_J(t) &= a_J + (1 - a_J)(1 + t - 2000)e^{-b_J(t-2000)}. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Данная система уравнений (2.1)-(2.5), описывающая модель открытой экономики типа Рамсея, была идентифицирована целиком (были определены ее параметры) на основании статистической информации с 2000 г. по 2006 г. на основе сравнения близости макроэкономических показателей, рассчитанных по модели с их статистическими аналогами. Для сравнения близости всех макропоказателей с их

статистическими аналогами использовалась свертка критериев близости каждого из макропоказателей.

Реализация самой модели, ее идентификация производились с помощью средств MATLAB, глобальный поиск (перебор) был осуществлен с использованием технологии параллельного программирования (область значений, идентифицируемых переменных, была разделена на равные части, после чего параллельные рабочие ветви вычисляли значения функционала близости на выделенной ему части области определения). В следующем разделе будет показано, как эту же модель можно реализовать в среде Simulink.

2.2. Базовые понятия и объекты Simulink

В литературе дано множество определений, что такое Simulink, на наш взгляд верно следующее: Simulink – это среда моделирования динамических систем – дифференциальных уравнений посредством графических объектов. Объекты в свою очередь можно объединять в подсистемы, а подсистемы в систему.

При всех преимуществах работы с Simulink, пользователю, не работавшему с данной средой, в первое время может быть трудно в части понимания логики системы, однако осознав принципы работы Simulink, он по достоинству оценит все преимущества имитационного моделирования.

Ниже описаны типовые объекты, ситуации, которые могут возникнуть при моделировании системы соответствующего уровня сложности. Приведем для начала реализацию верхнего вида системы уравнений (2.1)-(2.5) (см.

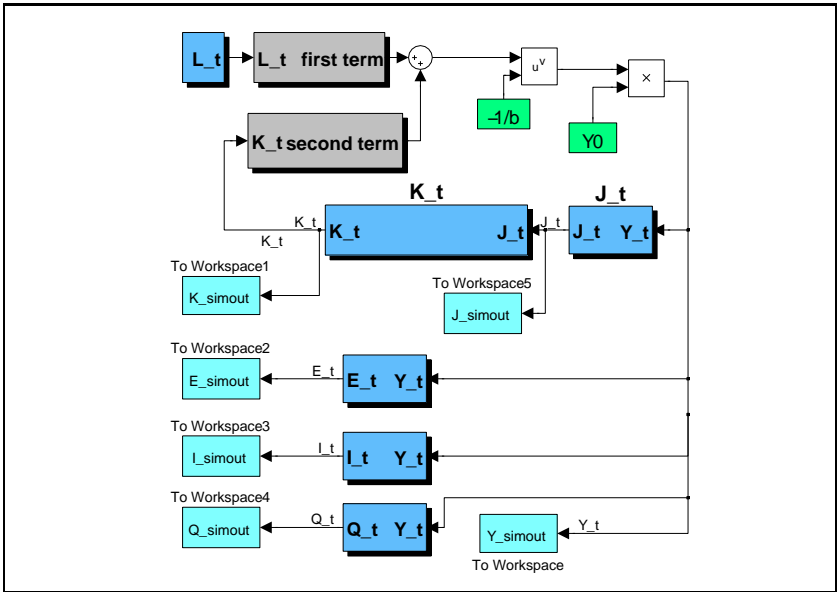


Рис. 5. Верхний уровень системы

рис.5). Под термином “реализация” подразумевается реализация, т.е. расположение и взаимосвязь блоков в среде Simulink.

Время. Следует помнить, что внутримодельное время является основополагающей частью системы, поэтому объект `Clock` доступен в любой ее части. Говоря языком программистов – “вызвать переменную” можно в любой части модели, переместив блок “время” из библиотеки блоков `Simulink Library Browser->Common->Sources->Clock`.

Реализация описанной уравнением на $L(t)$ подсистемы “труд” изображена на рис.6. Подсистема реализована с помощью блока `Clock`, двух усилителей `Gain`¹, которые имеют вид треугольников, блока `Math Function`, реализующего возведение в степень, и блока `Out`, который ответственен за вывод сигнала из подсистемы на верхний уровень. На диаграмме верхнего уровня системы рис. 5 выход сигнала из блока `L_t` обусловлен наличием в подсистеме блока `Out`.

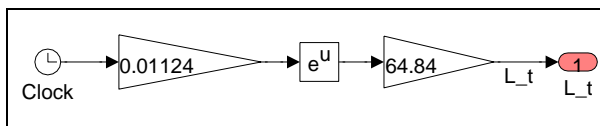


Рис. 6. Подсистема `L_t`, реализующая уравнение $L(t)$

Построив систему, изображенную на рис. 6, необходимо выделить все ее элементы и выбрать в меню команду `Edit->Create Subsystem`, в результате чего будет создан блок “подсистема”, изображенный на рис.5 как `L_t`. Аналогичным образом созданы все подсистемы `pi_i`, являющиеся подсистемами систем `J`, `E`, `I`, `Q` с одним небольшим

¹По своей сути блок `Gain` не отличается от операции умножения на константу, т.е. операции, которая реализуется двумя блоками – блоком умножения и блоком константы.

отличием в том, что в них использован блок `In` – вход, необходимый для того, чтобы ввести в подсистему внешний сигнал Y_t .

Алгебраическая петля (от англ. Algebraic loop). Ситуация алгебраической петли возникает в случае, когда необходимо реализовать в Simulink уравнение вида $y_{t+1} = y_t + f_t$, где f_t – некая функция. В случае модели с непрерывным временем Simulink, начиная моделирование, компилируя модель, не может определить для нее начальные условия. Данная проблема разрешается использованием вспомогательной, т.е. искусственной подсистемы `Atomic subsystem`. Это стандартный прием, описанный в технической помощи (`Help -> Simulink -> How Simulink Works -> Algebraic Loops`).

В случае с моделированием системы уравнений (2.1)-(2.5) нужно помнить, что создаваемая система – система с дискретным временем и использование `Atomic Subsystem` приведет к возникновению ошибки. В системах с дискретным временем проблема `Algebraic Loops` решается использованием блока `Memory` из раздела `Discrete` библиотеки блоков. На рис. 7 показано использование данного блока. Блок `Switch` необходим для того, чтобы на нулевом шаге системы (в момент времени, равный нулю) подать на выход K_t фиксированное значение капитала, как это обусловлено уравнением $K(t)$. В настройках блока `Switch` определены его свойства, гарантирующие прохождение сигнала, идущего ко второму порту при $t = 0$, в остальных случаях (при $t > 0$) – прохождение сигнала, идущего к первому порту. Блок `Memory` вызывает запоздание сигнала на один шаг, т.е. на первом шаге (в момент времени,

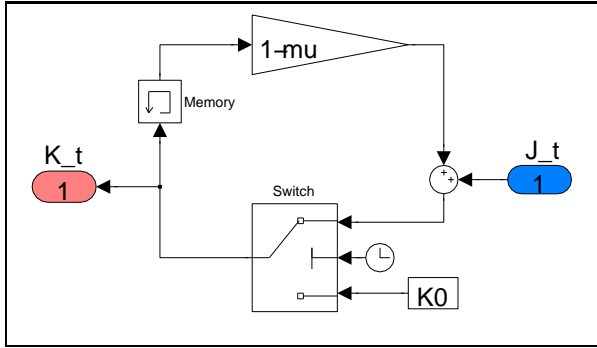


Рис. 7. Подсистема K_t , реализующая уравнение (2.3)

равный единице) к блоку **Gain** идет значение K_0 , которое затем умножается на константу (усиливается коэффициентом $1 - \mu$), затем добавляется значение сигнала, идущего от подсистемы J_t , после чего сигнал проходит через **Switch** и подается на выход **Memory**.

Изменение значения константы в процессе моделирования. Довольно часто при работе с системой возникает потребность динамического изменения значения некой константы. Конечно, данную задачу можно решить с помощью блока `Switch`, однако это приводит к загромождению модели, что может привести к снижению качества ее восприятия. Поэтому в этом случае рекомендуется использовать блок `Matlab_fuction`, т.е. блок, в котором на языке `m` файлов будут описаны условия, при которых происходит переопределение значений необходимых переменных.

При моделировании сценариев с использованием рис. 5 для рассматриваемой нами системы уравнений (2.1)-(2.5), необходимо в процессе имитации (работы системы) переопределять значение константы μ , которая используется в блоке `K_t` (при моделировании “пессимистического” сценария после 2008 г. происходит изменение значения константы μ с -0.185 на 0.188). Для упрощения примера в подсистеме на рис. 7 заменен блок `Gain` со значением $1 - \mu$ на равносильные блоки с константами 1 и $-\mu$, после чего параллельно с этой подсистемой на одном с ней уровне размещен блок `Matlab_fuction`, на вход которому подается сигнал от блока `Clock`. Выходного сигнала (значения функции) у блока `Matlab_fuction` нет, так как этот блок выполняет сценарий, описанный в `m` файле. Ниже показано содержимое этого `m` файла.

```
1 function update_mu(Clock)
2 if Clock==9
3     block_mu = find_system(gcs, 'Name', 'mu');
4     ModelName=block_mu{1};
5     set_param(ModelName, 'Value', 'mu2')
6 else;end
```

Структура файла `update_mu.m` очевидна, на шаге $t = 9$ происходит изменение значения блока константы `mu`. Следует отметить, что в качестве входных параметров в функцию передается только сигнал от блока `Clock`, который вообще говоря не несет в себе информации о системе. Однако так как пространство имен, в котором исполняется данная функция – это пространство самой модели, то с помощью функции `gcs` (аналогичной функциям `gcf` и `gca` в MATLAB) можно получить ссылку на объект работающей системы и на сам блок константы `mu`. Затем с помощью метода `set_param` производится замена значения этого блока.

Выше были описаны три технических момента (создание подсистемы, алгебраическая петля и изменение значения константы), реализация которых может вызвать у начинающего пользователя небольшие затруднения, в остальном модель системы (2.1) достаточно очевидна. В следующем разделе будет показано, как управлять построенной системой непосредственно из рабочей сессии MATLAB с помощью `m` файлов сценариев.

2.3. Управление моделью

Управление моделью Simulink из рабочей сессии MATLAB выполняется непосредственно с помощью методов, которые доступны у объекта модели после ее загрузки в рабочую область.

Ниже в листинге файла `pessimistic_scenario.m` показана инициализация необходимых переменных (строки 2-6), затем – загрузка модели `base_model` в рабочую сессию с помощью функции `open_system` (строка 8), после

чего – задание блоку `mu` значения μ_1 , которое по условиям пессимистического сценария в 2009 г. изменит свое значение на μ_2 . Команда `sim` запускает имитацию модели.

```
1  %----- pessimistic_scenario.m -----
2  %% Начальные значения и другие параметры-константы
3  L0=64.8406; Y0=7305.6; gamma=0.01124; sigma=0.1346;
4  delta=0.3511; rho=0.3532; beta=0.1569;
5  a = 0.892; b= -0.81; mu1= -0.185; mu2=0.188;
6  alpha=1.2; K0=Y0/alpha;
7  %----- Run Simulink model -----
8  open_system('base_model');
9  block_mu = find_system(gcs, 'Name', 'mu')
10 ModelName=block_mu{1};
11 set_param(ModelName, 'Value', 'mu1')
12 sim('base_model');
13 %----- Extract Simulation result -----
14 Ysim=Y_simout.signals.values;
15 Ksim=K_simout.signals.values;
16 Jsim=J_simout.signals.values;
17 Isim=I_simout.signals.values;
18 Esim=E_simout.signals.values;
19 Qsim=Q_simout.signals.values;
20 %---- End pessimistic_scenario.m -----
```

Следует отметить, что экспорт результатов имитации переменных в сессию MATLAB производится в формате структуры, поэтому для удобства требуется переопределение переменных (строки 14-19).

Результаты имитации пессимистического сценария, конечно, совпадают с результатами, полученными исключительно средствами MATLAB в работе [1]. Однако, ис-

пользуя платформу Simulink, полученная модель выглядит более компактно, отсутствуют многочисленные вспомогательные m функции, наглядно представлена обратная связь, присутствующая в модели, что, конечно, располагает к более естественному восприятию ее физической сути.

Рассмотренный выше пример не претендует на широкий охват всех возможностей Simulink, однако, по нашему мнению, он достаточен для первого знакомства и работы с моделями сопоставимой сложности. Для более глубокого изучения приемов и методов работы с Simulink рекомендуем ознакомиться с работой [31], в ней дано достаточно подробное описание практически всех базовых блоков Simulink, продемонстрированы основные приемы моделирования технических систем.

К работе с Simulink мы вернемся в разделе 3.2.1, где с его помощью будет реализована модифицированная модель макроэкономической системы (3.1), для идентификации параметров которой мы воспользуемся средствами параллельных и распределенных вычислений, а также будет показано, как модель, созданная в Simulink, может выполняться одновременно несколькими рабочими процессами.

2.4. Анализ сценарных и фактических данных

В целях сравнения результатов расчетов по модели со статистикой результаты моделирования системы (см. рис. 5) были сопоставлены со статистическими данными за период с 2000 г. по 2006 г., именно эти данные использовались для идентификации модели в работе [1].

Напомним, что пессимистический сценарий развития с 2007 г. по 2020 г. в 2007 г. характеризовался нами в [1]

следующим образом:

1. Источник вовлечения производственных фондов из наследства, доставшегося от советских времен, вот-вот будет исчерпан.
2. Производственные фонды, используемые в производстве, сильно изношены, доля производственных фондов, которые скоро выйдут из строя и которые поэтому надо срочно менять, в большинстве отраслей народного хозяйства превысила 50%.
3. Прирост числа занятых, наблюдавшийся в период оценки, в прогнозный период практически невозможен, начнет сказываться демографический кризис, в который Россия попала в начале 90-х гг. XX в.
4. Считаем, что параметры $a, b, \alpha, \delta, \sigma, \rho$ остаются постоянными, принимающими определенные ранее значения для 2000-2006 гг.: $a = 0.892, b = -0.81, \alpha = 1.2, \delta = 0.3511, \sigma = 0.1346, \rho = 0.3532$, так что $\beta = 0.1569$.
5. Параметр μ резко меняет свое значение и экономический смысл с 2009 г.: $\mu = -0.175 < 0$ до 2008 г., а начиная с 2009 г. он становится положительным $\mu = \alpha\beta = J_0/K_0 = 0.188 > 0$ и означает темп выбытия мощностей вследствие износа. Предполагаем, что источник, из которого в производство вовлекались бесплатные производственные фонды, к началу 2009 г. иссякнет.

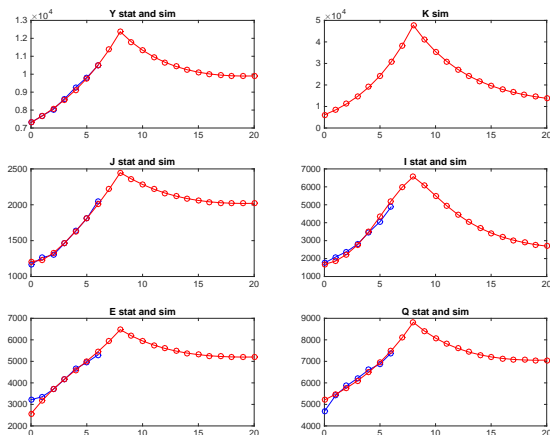


Рис. 8. Результаты имитационного моделирования системы уравнений (2.1)-(2.5) по пессимистическому сценарию

Графики на рис. 8 демонстрируют сценарный расчет по пессимистическому сценарию.

В заключение раздела считаем целесообразным сравнить прогноз развития экономики, полученный нами в результате моделирования в предыдущей работе [1], с фактически реализованной траекторией экономики России за период 2007-2014 гг. На рис.9 показано сравнение нашего прогноза и фактической траектории ВВП, сложившейся в период кризиса 2008-2009 гг. и в посткризисный период 2009-2014 гг.

Основной вывод, который можно сделать на основе имитационных запусков системы, как нам кажется, заклю-

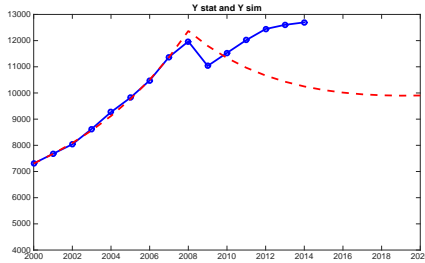


Рис. 9. Сравнение траектории, полученной при моделировании пессимистического сценария с фактической траекторией ВВП России за период 2000 – 2014 гг.

чается в следующем: несмотря на разразившийся в 2008 г. международный финансовый кризис экономика России системно была готова погрузиться в рецессию и без внешнего воздействия. Напомним, что работа была написана в 2006 г., а издана в 2007 г., т.е. прогноз был сделан на основе предкризисных данных. Основной причиной при этом является моральное устаревание, износ производственных фондов. Политика, проводимая руководством страны в предкризисные и кризисный период – федеральные целевые программы модернизации жилищно коммунального хозяйства, здравоохранения – были направлены, как нам кажется, на то, чтобы погасить те проблемные участки, на которых износ основных фондов наиболее заметен для населения. Ни в коей мере не умаляя значения этих целевых программ, мы все же относим их к категории первоочередных, направленных на быстрые дивиденды в виде благодарности избирателей.

К сожалению, выделить из экономических данных кри-

зисного и посткризисного периодов влияние международного финансового кризиса пока никому не удалось. Нам представляется, что влияние международного финансового кризиса на российскую экономику преувеличено. Основную роль играют внутренние причины. Простаивавшие в 90-е гг. производственные мощности в настоящее время загружены до экономически обоснованного уровня, поэтому дальнейший экономический рост невозможен за счет дозагрузки имеющихся производственных мощностей при снижении курса рубля, он требует увеличения объема самих мощностей за счет нового строительства и закупок фондообразующих продуктов.

В следующей главе рассмотрена модель производства, которая явно учитывает распределение производственных мощностей по технологиям, а полученная производственная функция эндогенна.

III. Идентификация эндогенной производственной функции

Напомним, что в третьей главе работы [1] была предложена и идентифицирована открытая динамическая модель типа Рамсея для экономики России по статистическим данным 2000-2006 гг. В модели производственный процесс представлен производственной функцией, описывающей зависимость выпуска валового внутреннего продукта (ВВП) от производственных факторов. Для описания использовалась экзогенная производственная функция с постоянной эластичностью замещения (*CES*-функция) с двумя производственными факторами – трудом, измеряющимся числом занятых в экономике, и эффективным капиталом, измеряющимся объемом задействованных в экономике производственных фондов в постоянных ценах 2000 г. Идентификация этой динамической модели экономики позволила предсказать кризис в реальном секторе российской экономики 2008 г. Идентифицированная модель использовалась для сценарных прогнозных расчетов. Однако эта модель в чистом виде не годится для детально-

го прогнозирования посткризисного развития, так как не учитывает структурные изменения [2].

К счастью, модель экономики, позволяющая описать структурные изменения в нашем распоряжении имеется [21]. В этой модели производство описывается эндогенной производственной функцией, представимой распределением производственных мощностей по технологиям. В данной модели производственная мощность у каждой производственной единицы задается максимально возможным выпуском в текущий период времени, а технология – трудоемкостью, то есть нормой затрат живого труда на выпуск единицы продукции. В качестве периода времени здесь будем рассматривать календарный год, а продукцию будем считать однородной. Суммарный объем выпущенной продукции дает ВВП страны. Итак, в качестве базовой модели экономики можно взять ту же самую модификацию модели Рамсея для открытой экономики, которая была представлена в работе [1], но заменить экзогенную производственную функцию CES на экзогенную производственную функцию, численно рассчитываемую на основе динамики производственных мощностей. При этом вместо рассмотрения динамики эффективных производственных фондов будет рассмотрена динамика суммарной производственной мощности.

В соответствии с [21] считаем, что начальная производственная мощность и начальная трудоемкость у каждой производственной единицы определяются в момент создания. В этот же момент определяется число рабочих мест на производственной единице, которое в соответствии с основным предположением [21] не меняется с течением времени, то есть с момента создания до ликвидации произ-

водственной единицы это постоянное число рабочих мест равно произведению начальной мощности на начальную трудоемкость.

С возрастом производственная мощность падает с постоянным темпом – темпом деградации, тогда трудоемкость должна с тем же темпом расти, чтобы сохранилось число рабочих мест. Отсюда следует [21], что производственные мощности дифференцированы по моментам создания (или возрасту), можно найти закон изменения производственных мощностей по времени и трудоемкости, динамику суммарной мощности, динамику загрузки мощностей трудовыми ресурсами, а значит, и динамику ВВП, т.е. численно рассчитать производственную функцию, задающую зависимость выпуска (ВВП) от производственных факторов – суммарной производственной мощности и суммарного объема использованных трудовых ресурсов (труда). В [21] получено и аналитическое выражение для данной эндогенной производственной функции, правда, только для частного случая с постоянной долей вновь созданных мощностей, характерного для режима сбалансированного роста экономики. В общем случае производственную функцию можно рассчитать численно. Процедура численного расчета производственной функции и процедура идентификации параметров производственного блока экономической системы в системе MATLAB и в пакете Simulink описана ниже по статистическим данным современной российской экономики. Выводы, представленные в заключении разд. 2.4, привели нас к вопросу: “А какие именно качественные характеристики производственных мощностей наиболее значимым образом влияют на динамику роста нашей экономики?”

Основная задача, которую мы постарались решить – это ответить на вопрос: “На сколько сильно мешает (или помогает) нашей экономике “тяжелый хвост” в распределении производственных мощностей по технологиям, унаследованный от СССР и ранних 90–х ¹, каким путем, по какой траектории провести модернизацию, ускоренным (посредством различных программ утилизации) или эволюционным (посредством естественного выбытия морально устаревших мощностей и методов их управления)”.

Переводя качественные вопросы в количественные и динамические характеристики, мы сформулировали следующие вопросы, на которые должна отвечать модель:

- Какими производственными мощностями обладала экономика в 1990 г., 2000 г., 2012 г.?
- Какие значения параметров, характеризующие динамику системы, имеют место в нашей экономике:
 - какова скорость выбытия производственных мощностей (темп деградации)?

¹Несомненно, что наша промышленность, например ВПК, обладает разработками, начало которых положено в СССР и которые на сегодняшний день являются перспективными и новаторскими, однако, к сожалению не эти разработки определяют сегодня динамику производства в развитых и развивающихся странах, а относительно новые технологии 90-х и 2000-х гг. Как показывает история развертывания системы ГЛОНАС, например, наша проблема даже не в том, чтобы вывести спутник на орбиту (хотя и в этом тоже наблюдаются определенные трудности), а в том, какая компонентная база используется в этом проекте (база, разработанная в иностранных государствах в 90-х гг. и практически отсутствующая в России как технология).

- каково значение коэффициента фондоемкости нашей экономики?
- каков уровень наименьшей трудоемкости в нашей экономике?

Идентифицировав систему по перечисленным выше параметрам, мы сможем ответить на следующие вопросы:

1. Достигли ли вновь создаваемые каждый год производственные мощности России уровня производственных мощностей, созданных в РСФСР?
2. Каким должен быть ежегодный объем инвестиций для удвоения ВВП России за двадцать пять лет?
3. Каким будет профиль распределения производственных мощностей через двадцать пять лет в случае инвестирования в производственные фонды объема, достаточного для удвоения ВВП?
4. Какой должен быть объем инвестиций для роста ВВП в 6% годовых²?
5. Какими управляющими воздействиями на управляющие переменные достичь перечисленных выше задач? Что лежит за этими воздействиями?

За базовую модель для ответов на поставленные вопросы мы выбрали модель процесса изменения производ-

²По мнению Джима О'Нила [25], Россия в блоке БРИКС относится к тому типу стран, для которых не нужен двузначный рост ВВП

ственной мощности, изложенную в работе [21]. В формальном изложении формулировка модификации данной модели приведена в разд. 3.4, в разд. 3.1-3.3 приведены описания объектов, без которых понимание модели невозможно.

3.1. Распределение производственных мощностей

Основные производственные фонды дифференцированы по возрасту, их значения в постоянных ценах непосредственно определяются вектором прошлых инвестиций в производственные фонды и темпами амортизации.

Производственные мощности также дифференцированы по возрасту и также определяются вектором инвестиций, но их значения не совпадают, поскольку производственные мощности измеряются в других единицах (они показывают максимально возможный выпуск в год, в то время как производственные фонды показывают объем неамортизированных инвестиций).

Для пересчета стоимости капиталоемких продуктов в инвестициях (новых основных производственных фондах) в стоимость производимой продукции новыми производственными мощностями используется коэффициент приростной фондоемкости. Кроме того, производственные мощности и основные производственные фонды выбывают с разными темпами: с темпом деградации для мощностей и с темпом амортизации для фондов.

Амортизация производственных фондов зависит от бухгалтерских коэффициентов амортизации, принятых законодательными органами в данной стране, а деградация мощностей (максимальных выпусков) зависит от естественных процессов старения. По мере старения мощность

все чаще ломается, а рабочая сила простаивает в ожидании окончания ремонта. При рассмотрении современной российской экономики в данной работе мы абстрагируемся от процессов возрастания мощностей по мере обучения рабочих и менеджмента, которые имеют место в условиях бурного роста за счет инноваций (см., например, [32]).

Итак, обсуждение вопроса, связанного с динамикой возрастного распределения производственных мощностей, следует начать с рассмотрения вектора прошлых инвестиций.

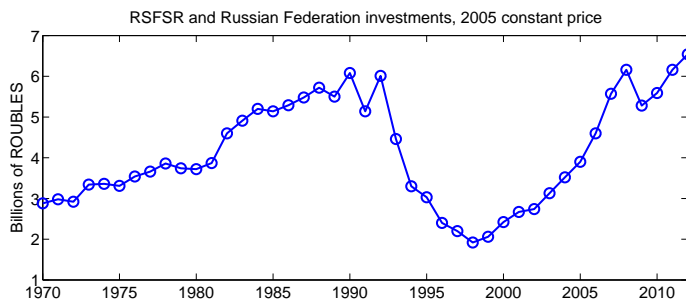


Рис. 10. Динамика инвестиции РСФСР и Российской Федерации с 1970 г. по 2012 г., в постоянных ценах 2005 г. Данные ООН и оценка авторов (в части доли инвестиций РСФСР в объеме инвестиций СССР)

В целях сопоставимости данных вектор инвестиций до 1991 г. был очищен экспертным путем от объема инвестиций в союзные республики во времена СССР; таким образом, представленный график на рис.10 отражает прошлые инвестиции именно РСФСР и Российской Федера-

ции. Несмотря на качественную информацию³, которую несет в себе данный график инвестиций, для ответа на вопросы, поставленные в начале главы, его не достаточно. Для ответа на эти вопросы здесь представлена модель, в которой используется не только динамика объема инвестиций, т.е. фондообразующего продукта, но и ее преобразование в динамику производственных мощностей, т.е. максимально возможных выпусков.

Структурой распределения производственных мощностей будем называть функционал над областью производственных мощностей в область положительно определенной функции $\varphi(t)$, заданной на промежутке $[0, T]$, где T – максимальный возраст используемой в производстве производственной мощности, при этом $\int_0^T \varphi(dt) = 1$. (т.е. в экономике в момент времени t не может быть задействовано больше производственных мощностей, чем есть в наличии на данный момент. При этом, $\varphi(\Delta t)$ есть доля производственных мощностей в экономике с возрастом из интервала $[t, t + \Delta t]$).

По сути, для дискретного случая величина загрузки суммарной мощности $\sum_0^T \varphi(t)$ будет определять выпуск системы (иными словами, ВВП системы есть совокупность всех использующихся в данный момент времени производственных мощностей). Несмотря на кажущуюся очевидность и важность такого показателя, официальной статистики данного измерения, достоверных и, что самое главное, агрегированных данных по экономике России нет. Поэтому динамику распределения производственных мощно-

³В том плане, что провал графика в 90-е годы ярко иллюстрирует ту геополитическую катастрофу, которая имела место с развалом СССР.

стей по возрасту пришлось смоделировать, а параметры этого распределения идентифицировать косвенным путем.

3.2. Моделирование износа производственных мощностей в среде Simulink

Информация, содержащаяся в векторе инвестиций на рис.10, не отвечает на следующие вопросы:

1. Как выглядит распределение производственных мощностей, задействованных в экономике в конкретном году? Так как статистика OECD ведется с 1970 г., то мы не видим на графике даже объем инвестиций в основные фонды в более ранние годы (а эти средства тем не менее и в 2012 г. были задействованы в производстве и давали в ВВП свою долю).
2. График динамики инвестиций не дает представления о динамике профиля производственных мощностей. Он не дает ответы на вопрос: “Какова, например, доля производственных мощностей (и даже основных фондов) возрастом 0-10 лет сейчас и пять лет назад?”. А ведь для устойчивого экономического роста именно самое современное оборудование должно давать наибольший вклад в ВВП страны.

Для ответа на эти вопросы, рассмотрим сначала процесс износа (устаревания) производственных мощностей на простом примере. Предположим, что в момент времени $t = t_0$ в экономике были задействованы производственные мощности распределенные по возрасту, так как это показано на левой части рис.11, где ось x – возраст, ось y – объем

мощностей, выраженный в денежном эквиваленте. Предположим также, что те мощности, возраст которых более пяти лет, не задействованы в экономике и утилизируются.

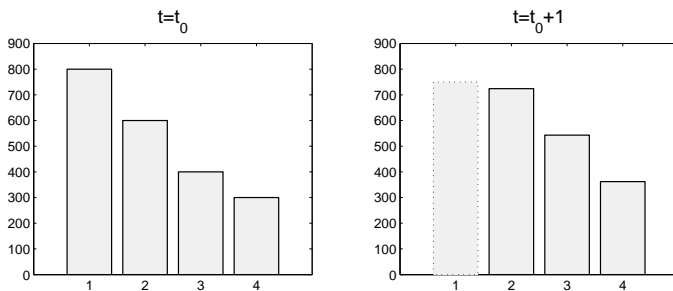


Рис. 11. Пример устаревания, изменения объема производственных мощностей, $\mu = 0.1$. Ось x - возраст производственных мощностей, ось y - объем производственных мощностей (выраженный в денежном эквиваленте)

Пусть процесс устаревания задан формулой

$$m(a + 1) = m(a) \cdot e^{-\mu}, \quad (3.1)$$

где $m(a + 1)$ - объем производственных мощностей в следующем временном интервале, μ - некая константа $(0, 1)$, процесс износа может быть задан и линейной функцией, однако более распространенным является использование экспоненциальной функции.

Очевидно, что с течением времени производственные мощности устаревают, теряя свою стоимость и степень влияния на ВВП.

По прошествии одного года модельного времени, те мощности, которые были расположены в диапазоне 0-1 года и так далее, переместились по оси возраста вправо, потеряв при этом объем согласно уравнению (3.1). При этом, очевидно, что выражение (3.1) не позволяет оценить объем мощностей с возрастом 0-1 года (так как это формула описывает износ, а не ввод новых мощностей). Очевидно, что объем мощностей в диапазоне 0-1 на второй части рисунка есть не что иное, как инвестиции производимые в экономике в течение года, деленные на коэффициент фондоемкости (коэффициент пересчета вновь созданных основных производственных фондов во вновь созданные производственные мощности).

Так, например, если инвестиции не осуществляются в течение пяти лет, то в рассматриваемой на рис.11 экономике не окажется основных средств для производства возрастом младше (менее) пяти лет, произойдет процесс полного выбытия мощностей.

Как мы уже упомянули, статистическая информация по распределению производственных мощностей и даже основных фондов в российской экономике крайне скудна. Поэтому для оценки профиля мощностей возрастом не старше тридцати лет⁴, задействованных в экономике на начало 2000 г., был использован следующий алгоритм:

1. Для начальной оценки профиля на 1970 г., может быть положена некая константа, равная, например,

⁴В рассматриваемой нами модели было использовано допущение, что мощности, возраст которых более 30 лет, не принимают участия в создании добавленной стоимости. Как следствие, инвестиции в основные фонды, произведенные до 1970 г., на начало 2000 г.а не будут задействованы в модели

объему инвестиций 1970 г., однако в целях наглядности был использован равномерно убывающий профиль (вектор) размерностью 30 (лет), значения которого убывают от объема инвестиций 1970 г. до 0⁵.

2. Подставив начальное приближение, полученное на первом шаге, последовательно была применена формула (3.1), при этом на каждом новом шаге в качестве инвестиций i -го года использовалось i -е значение вектора инвестиций рис.10.

Результат работы данного алгоритма представлен на рис.12, для сравнения приведены профили трех лет, эти годы важны, с нашей точки зрения, для понимания глубинных трансформаций, произошедших и происходящих в экономике России:

1991 г. Окончание эры Советского Союза – трагическое геополитическое событие на евразийском континенте и в мире. По сути, профиль 1991 г. на рис.12 есть то промышленное наследие, которое Советский Союз оставил новой России.

2000 г. Начало второй декады России – наследство, которое Б.Н. Ельцин оставил новому президенту В.В. Путину.

⁵В неявном виде данное допущение по профилю 1970 г. предполагает, что после окончаний Второй мировой войны экономика Советского Союза была полностью разрушена, поэтому профиль основных фондов на начало 1970 г. есть отражение тех инвестиций, которые были произведены в период 1945-1970 гг. Советским Союзом (в частности, РСФСР) в экономику.

2012 г. Наши дни – производственные мощности, представляющие собой частично наследие СССР, России при Б.Н. Ельцине и России при В.В. Путине.

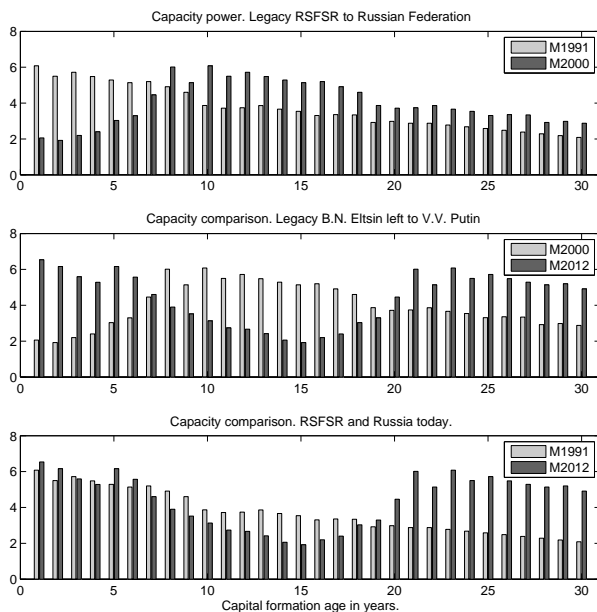


Рис. 12. Сравнительные профили производственных мощностей, задействованных в экономике России на 1991 г., 2000 г. и 2012 г.

Даже на основании представленных данных на рис. 12 без учета влияния параметров – при темпе износа $\mu = 0$ и при коэффициенте фондоемкости $b = 1$ (речь о факти-

ческих значениях этих параметров пойдет в следующих разделах) можно сделать следующие очевидные выводы:

- Провал производственных мощностей возраста 10-20 лет в профиле 2012 г. связан с кризисом 90-х гг., когда практически прекратилось инвестирование не только в основные фонды, но и в социальные проекты, человеческий капитал.
- В 2012 г. объем производственных мощностей возрастом 20-30 лет, оказывается большим не только по сравнению с 2000 г., но и – с 1991 г.
- В 2012 г. объем производственных мощностей с возрастом 0-5 лет превышает аналогичный бакет (возрастной отрезок) 2000 г., и в целом сопоставим с соответствующим объемом производственных мощностей 1991 г. с возрастом 0-5 лет.
- Рост доходов от высоких мировых цен на нефть 2000-2008 гг. сказался серьезным образом не только на росте социальных расходов, повышении реального благосостояния, но и на росте инвестиций в основные фонды.
- Кризис 2008 г. привел не только к снижению ВВП, но и падению объема инвестиций. Это видно из профиля 2012 г. на участке производственных мощностей с возрастом 2-3 года.

Реализация (построение) модели была проведена как средствами MATLAB, так и средствами Simulink (как именно, шаг за шагом описано ниже), и если вопросов о

том, как реализовать на языке m-файла MATLAB уравнения (3.1), у начинающего пользователя MATLAB возникнуть не должно, то вопросы о том, как реализовать тоже самое уравнение в среде Simulink, вполне могут возникнуть.

Техническое описание реализации процесса износа средствами Simulink логично совместить одновременно с описанием реализации процесса ввода новых мощностей, и именно об этом пойдет речь в следующем разд. 3.2.1.

3.2.1. Реализация блоков износа и фондоемкости в Simulink

Реализация модели износа производственных мощностей с учетом их выбытия (вследствие достижения предельного возраста), формализующая уравнение (3.1), а также процедура создания новых производственных мощностей, осуществлены средствами Simulink. В целях сближения модели с реальной экономической системой введем дополнительно параметр фондоемкости.

Функция фондоемкости – функция, описывающая зависимость между величиной инвестиций в экономику (стоимости созданного инвестиционного продукта) и величиной новых производственных мощностей (потенциального выпуска). Эта величина зависит от технологического уровня развития экономики, а также от величины коррупции, эффективности системы распределения государ-

ственного и корпоративного капитала⁶:

$$I(t, b) = b \cdot I(t) \quad (3.2)$$

где $I(t, b)$ – объем вновь созданных мощностей (добавка к потенциальному выпуску), $I(t)$ – объем произведенных инвестиций в момент времени t (объем финансовых средств, идущих на закупку инвестиционных продуктов), а $b > 0$ – параметр модели, обратный к коэффициенту приростной фондоемкости (в модели этот параметр предполагается постоянным на протяжении долгого периода времени), а в нашей модели – подлежащий идентификации⁷.

В разд. 2.1 уже были описаны основные блоки и приемы работы, используемые в Simulink, поэтому для подсистемы износа, выраженной формулой (3.1), ограничимся лишь иллюстрацией подсистемы с использованием Simulink рис.13.

Назначение основных блоков следующее:

- `Asset_profile_0` – вектор начального распределения мощностей, константа.

⁶Инвестиции частного бизнеса также зависят от уровня коррупции, так как расширение бизнеса, подключение к сетям сопряжено в нашей экономике с потерей части инвестируемых средств.

⁷Как это ни печально, но первый синоним который может возникнуть в ассоциативном ряду с термином “фондоемкость” у россиянина средних лет это скорее всего термин “откат”. В целом, это, конечно, не бесосновательно, но в контексте данной модели термин “фондоемкость” все же используется в более широком контексте, и при идентификации модели область определения параметра b (обратной величины к коэффициенту фондоемкости) была положена на интервале $(0.3, 1)$.

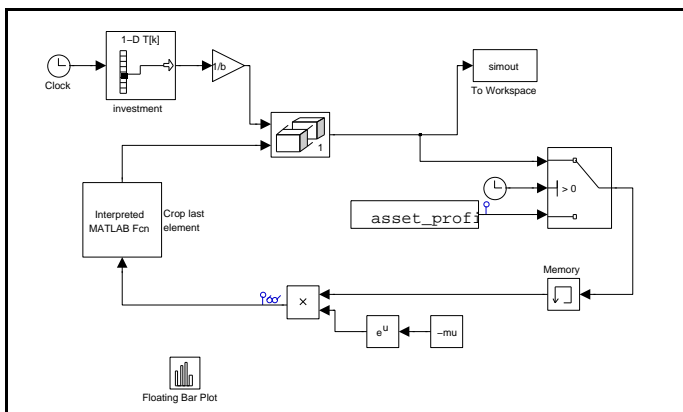


Рис. 13. Подсистема, реализующая процесс износа и выбытия (производственные мощности старше 30 лет не используются)

- Блок `switch` – переключатель вводит начальное распределение в систему, после чего использует в контуре только текущее значение распределения мощностей, т.е. то, которое имеется в экономике на i -м шаге моделирования.
- Блок `memory` предназначен для решения проблемы `algebraic loop`.
- Блок `interepted matlab function` – блок, в котором можно напрямую обращаться к простым функциям MATLAB. В данном случае в блоке записано выражение `u(1:end-1)`, т.е. входящий сигнал лишается своего последнего элемента (имитация процесса выбытия основных фондов).
- На следующем участке подставляется значение, равное инвестициям i -го года. Для этого используется

блок `look-up table`, заполненный значениями вектора инвестиций, на вход которому подается значение модельного времени из блока `clock`, таким образом выходной сигнал из блока это i -е значение вектора инвестиций (совпадающее с модельным временем).

- Учет влияния функции фондоемкости реализован в виде блока `gain`, с определенным постоянным значением, по сути, представляющий умножение на константу b .

Размерности

В заключение вводной части следует сделать следующие замечания, необходимые для дальнейшего построения модели:

- ВВП и производственная мощность имеют одинаковую размерность [рубли], поскольку мощность определяется как потенциальный выпуск;
- ВВП представляет собой некую часть суммарной мощности, загруженную живой силой (далее будет описан процесс загрузки фондов производственным фактором – трудовыми ресурсами);
- I_i , инвестиции i -го года, есть не что иное, как производная фондов по времени $\Delta M/\Delta t$, размерность данной величины равна [рубли/год];
- Фондоемкость имеет размерность времени [год].

Произведение инвестиций i -го года на фондоемкость есть величина размерности [рубли], т.е. фондообразующийся продукт, использованный на инвестиции в i -м году.

3.3. Производительность

Сам по себе профиль производственных мощностей не может быть использован для расчета выпуска системы. Для того чтобы определить выпуск (ВВП) с использованием производственных мощностей, введем еще один показатель, а именно функцию трудоемкости⁸. **Функция трудоемкости** представляет собой показатель эффективности, зависящий от возраста производственных мощностей, задаваемый выражением

$$\lambda(a) = \nu e^{\mu a}, \quad (3.3)$$

где λ – трудоемкость, μ – темп износа⁹ (константа), ν – наименьшая трудоемкость (константа). Экономический смысл показателя трудоемкости очевиден: со старением производственной мощности ее трудоемкость растет.

Иными словами, трудоемкость – функция, обратная производительности мощностей, которая, в свою очередь, характеризует объем произведенной продукции на мощностях определенного возраста за определенный промежуток времени.

Формулой (3.3) введена функция трудоемкости, с другой стороны, трудоемкость есть отношение затрат труда (в виде числа занятых) к мощности (т.е. норма затрат труда на единицу мощности):

$$\lambda(a) = \frac{L(a)}{m(a)}, \quad (3.4)$$

⁸Только после определения функции трудоемкости, используя текущее значение трудовых ресурсов, можно будет определить выпуск системы.

⁹В некоторых источниках используется также термин – темп деградации (синоним).

где $L(a)$ – предложение труда на мощности с возрастом a , т.е. $m(a)$, следовательно, размерность трудоемкости равна [число занятых рабочих /рубли].

Задав в формуле (3.3) числовые значения ν и μ , получим функцию трудоемкости. В рассматриваемой нами модели, будем полагать коэффициенты ν , μ и b статическими, неизменными по времени¹⁰. Возрастающий характер функции трудоемкости имеет определенный экономический смысл, а именно отражает тот факт, что относительно молодые мощности по сравнению с более старыми для производства одного и того же объема продукции требуют меньше трудовых ресурсов.

3.3.1. Загрузка производственных мощностей трудом

Предложение труда в модели будем определять не как прежде экспоненциальной функцией, а фактическими статистическими данными (использование эконенциальной подгонки не позволяет учесть факт роста безработицы в период кризиса 2008 г. (и, как следствие, высвобождение производственных фондов)).

На этапе идентификации системы допущений о влиянии нелегальных миграционных потоков не использовалось (в виду отсутствия достоверной статистики), тем не менее, на этапе сценарных расчетов в заключительном разделе, некоторые предположения в миграционных потоках потребуются.

¹⁰Задача идентификации динамики коэффициентов ν , μ и b является темой отдельного исследования, но, имея ограниченный набор статистики, данная задача будет плохо обусловленной.

Оценка возраста фондов, на котором достигается полная загрузка фондов (на основе труда)

Приравняв правые части выражений (3.3) и (3.4), имеем

$$L(a) = m(a) \cdot \nu \cdot \exp(\mu \cdot a). \quad (3.5)$$

Уравнение (3.5) справедливо для некоторой производственной мощности возраста a , полностью используемой в выпуске продукции. Рассмотрев данное выражение в динамике, можно утверждать, что в момент времени t возраст a_{max} , на котором достигается полная утилизация трудовых ресурсов $L(t)$ на векторе (3.6):

$$M(t, a) \cdot \nu \cdot \exp(\mu \cdot a), \quad (3.6)$$

где $a = 1 : 30$ и есть возраст наиболее старой производственной мощности, используемой в выпуске (очевидно, что трудоемкость данной мощности будет максимальной).

Значение величины a_{max} вычисляют следующим образом:

1. В момент времени t известно значение вектора мощностей $M(a)$, значение L , константы ν и μ определены.
2. Программа вычисляет индекс вектора (3.6), на котором полностью расходуются ресурсы L .

Используя значение вектора a_{max} , вычисляется выпуск

$$Y(t) = \sum_1^{a_{max}} M(t, a). \quad (3.7)$$

Реализация поиска a_{max} средствами Simulink была решена с использованием блока `interepted matlab function`, на вход которому подавались значения блоков констант ν , μ и значение вектора `look-up table`, содержащего статистические данные по числу занятых в экономике $L(t)$.

Оценка возраста производственных мощностей, на котором достигается их полная загрузка (на основе цен производителей и заработной платы)

Поиск наибольшего загруженного возраста производственных мощностей, изложенный выше, не единственный способ определения a_{max} . Ниже рассмотрим еще один способ, основанный на других предположениях.

Выпуск системы зависит не только от наличия производственных мощностей и трудовых ресурсов, но и от прибыли, имеющейся в наличии у “производителей” (необходимой для перемещения трудовых ресурсов на более производительные ресурсы с повышением заработной платы).

Очевидно, что система при таком перемещении ресурсов не может работать себе в убыток, т.е. выплачивать зарплату больше, чем получать выручки. И, наоборот, в периоды спада спроса на производимую продукцию производители могут увольнять сотрудников с целью минимизации убытков.

Условие безубыточности функционирования системы можно записать в следующем виде:

$$\frac{P(t)}{S(t)} \leq 1, \quad (3.8)$$

где $P(t)$ – индекс цен потребителей, $S(t)$ – индекс цен производителей, обе переменные являются интенсивными.

3.4. Формализация модели и ее идентификация

После того как шаг за шагом показаны подсистемы, определены основные функции и ограничения, можно строго сформулировать задачу идентификации и ввести статистические данные, на основе которых определяют параметры.

Постановка задачи идентификации

Идентифицировать параметры μ , b , ν функции выпуска

$$Y(t) = \sum_{i=1}^{a(t)} m_i(t, a), \quad (3.9)$$

где $a(t) = \min\{a_1(t), a_2(t)\}$ есть наибольший возраст производственных мощностей, занятых в производстве выпуска (может быть дробным, так как объем продукции измеряется в постоянных ценах), $a \in [0, 30]$ лет.

Возраст $a_1(t)$ зависит от предложения труда $L(t)$ и определяется алгоритмически – путем отыскания $a(t)$ такого, что труд $L(t)$ расходуется на векторе $M(t, a) \cdot \lambda(t, a)$.

Возраст $a_2(t)$ определяется аналитически и равен выражению

$$\frac{1}{\mu} \ln \left(\frac{P}{S \cdot \nu} \right). \quad (3.10)$$

Динамика производственной мощности. Совокупность $m_i(t, a)$ есть $M(t, a)$ – суммарная производственная

мощность экономики в момент времени t , при этом

$$M(t, a) = \Psi (M(0, a), I(t), \mu, b),$$

где $I(t)$ – инвестиции, $b \cdot I(t) = \frac{dM(t)}{dt}$.

Вспомогательный вопрос, связанный с фактором укрепления/ослабления национальной валюты не рассматривается, однако очевидно, что при росте экспорта, при крепкой валюте, модернизацию проводить легче (закупая готовое оборудование, импортируя технологии из развитых стран). В модели, рассматриваемой в данной главе, будет предполагаться, что внешние факторы, т.е. цены на производимую экономикой России продукцию, остаются неизменными.

Статистические данные для идентификации

Идентификация функции выпуска (3.9) проводится на временном периоде $t = [2000 \dots 2012]$, на векторе $Y_{stat}(t)$ (вектор ВВП в ценах 2005 г., источник – база данных ООН¹¹ [33]).

В силу того, что идентификация с использованием данных Y_{stat} является плохо обусловленной, целесообразно “улучшить ее” дополнительными статистическими данными. Для этих целей введем в рассмотрение новую статистику – вектор CU (Capacity utilization), представляющий собой отношение загруженных живым трудом производственных мощностей к общему объему [34, с.7]¹².

¹¹Учет данных по основным макроэкономическим агрегатам ведется с 1970 г. и приведен в постоянных ценах 2005 г. на сайте <http://unstats.un.org/unsd/snaama/selbasicFast.asp>.

¹²Указанные данные, по мнению самих сотрудников Всемирно-

Критерий качества идентификации

Как и ранее в работе [1], нами предлагается использовать критерий максимума целевой функции F , являющейся комбинацией коэффициента Пирсона и коэффициента Тейла:

$$F(Model(\mu, b, \nu), Statistic) \rightarrow \max_{\mu, b, \nu}, \quad (3.11)$$

где $Model$ – вектор $[Y_{model}, CU_{model}]$, полученный в процессе моделирования, а $Statistic$ – вектор статистики $[Y_{statistic}, CU_{statistic}]$.

3.4.1. Идентификация системы

Задача идентификации была независимо решена с использованием двух платформ MATLAB и Simulink (на основе одних и тех же статистических данных). Ввиду ресурсоемкости задачи в обоих случаях был использован подход, основанный на распределенных вычислениях (был использован Parallel Computing Toolbox), технические особенности реализации распределенных вычислений приведены в конце настоящего раздела 3.4.4. В разделе 3.4.2 приведены результаты полученной идентификации и анализ полученных результатов.

го банка, являются оценочными и не являются предметом официальной статистики. Также следует помнить, что сами объекты основных фондов могут различаться (в процитированном отчете это, скорее всего, исключительно загрузка промышленного производства, в рамках настоящей работы производственные мощности – результат инвестиций не только в основные фонды промышленности). Версия на русском языке доступна по ссылке <http://hdl.handle.net/10986/16691>.

3.4.2. Результаты идентификации

По причине нелинейности задачи идентификация системы была произведена прямым поиском (перебором) по следующей сетке: $\mu = [0 \dots 5\%]$, $b = [0.2 \dots 0.8]$, $\nu = [0.1 \dots \max(P/S)]$. Результаты идентификации на разных сетках (n) при использовании различных платформ представлены ниже. Вычисления проведены в параллельном режиме на двухядерном процессоре.

n	μ	b	ν	F	Matlab
10	3.22%	0.41	2.14	1.8388	
50	3.69%	0.45	1.96	1.8357	2 min
100	4.76%	0.49	1.94	1.9419	19 min
200	5.00%	0.52	1.84	1.9430	2 h 43 min
300	9.07%	0.80	1.61	1.9562	8 h 20 min

Траектории ВВП ($Y(t)$) и загрузки мощностей (CU) на основе идентифицированных параметров (на сетке $n=100$) представлены на рис.14.

Обсуждение результатов идентификации

Результат идентификации нельзя назвать впечатляющим (по критерию близости графиков на рис.14), в то же время эти графики построены на основании максимума критерия близости.

Причин, по которым графики не могут на 100% совпадать со статистическими значениями, можно выделить как минимум две. Во-первых, построенная эндогенная модель роста в принципе не может описать особенности ди-

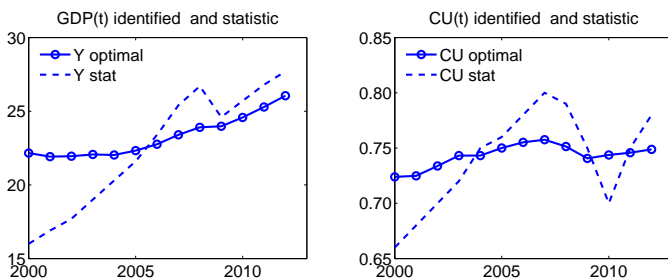


Рис. 14. Графики $Y(t)$ и $CU(t)$, построенные на основе идентифицированных параметров, и графики статистических данных, используемых при идентификации

намики ВВП (вследствие того, что спад 2008 г. обусловлен не только внутренними факторами, но и внешними). Во-вторых, качество статистических данных не достаточно точное:

- вектор статистических данных по ВВП не учитывает объем теневой экономики¹³;
- вектор статистики по CU формально отражает индекс загрузки промышленного производства.

В целом, однако считаем, что модель “схватывает” основные особенности роста ВВП и загрузки мощностей:

- рост ВВП вплоть до 2008 г., затем торможение и снова рост;
- рост индекса загрузки мощностей, спад и снова рост.

¹³К влиянию данного фактора на модель вернемся в следующем разделе.

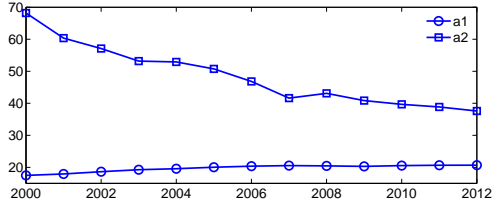


Рис. 15. Графики возраста последней производственной мощности из загруженных (a_1 – слева, a_2 – справа)

Отдельно стоит прокомментировать поведение графиков, отражающих максимальный возраст задействованной в ВВП мощности рис. 15, рассчитанных на основании двух различных гипотез.

Поведение графика a_1 , очевидно, отражает тот факт, что на протяжении 2000-2007 гг. происходило постоянное увеличение максимального возраста производственных мощностей, задействованных в производстве (в выпуске), в 2008-2009 гг. снижение возраста, что связано с недогрузкой, вызванной увеличением безработицы. Рост максимального возраста в 2009-2012 гг. связан с выходом загрузки мощностей на предкризисный уровень.

Поведение графика a_2 не столь очевидно. Во-первых, стоит отметить, что график a_2 не пересек график a_1 (максимальный возраст производственной мощности, рассчитанный на основании формулы (3.10), находится выше графика a_1 , следовательно, влияние факторов, лежащих в основе падения a_2 , не сказывается на выпуске достаточно сильно). Во-вторых, устойчивый нисходящий характер графика говорит о том, что в течение декады наблюдался устойчивый рост уровня зарплат, иными словами, рост

ВВП в этом же периоде приводил не только к увеличению роста прибыли работодателей, но и к реальному росту благосостояния рабочих¹⁴.

В то же время рост заработной платы в модели предполагает увеличение отдачи; рост зарплаты определенно должен сопровождаться переводом рабочего с более старых производственных фондов (с большей трудоемкостью) на менее старые фонды (с наименьшей трудоемкостью), т.е. перевод рабочего с увеличением зарплаты должен сопровождаться увеличением производительности¹⁵.

Оптимальные параметры – начальное приближение для сценарных расчетов

Найденные и указанные выше оптимальные значения параметров модели могут быть использованы не только для анализа самой системы, но и для целей моделирования сценариев развития. Для этого необходимо, используя эти параметры, восстановить значение мощности M по состоянию на 2012 г. Ниже на рис. 16 представлены два профиля мощностей – 1991 г. и 2012 г. с учетом коэффициентов b и μ (т.е. с учетом идентифицированной фондоемкости и коэффициента деградации (реальная, а не номинальная, как на рис. 12, оценка мощностей)).

¹⁴ Данное утверждение может быть проверено историческим отношением реального ВВП к реальной средней зарплате на число занятых (политика дестимулирования зарплат в конвертах).

¹⁵ К сожалению, исследование этого вопроса: “На сколько рост реальных заработных плат прошедшей декады сопровождался увеличением производительности?” – выходит за рамки настоящего исследования, а также то, какие категории граждан (трудящихся) полу-

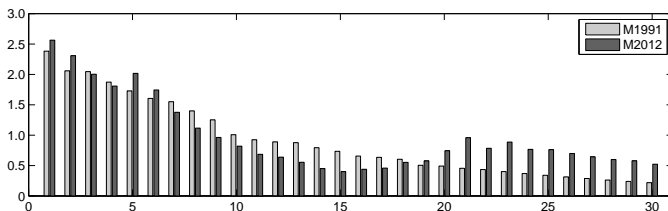


Рис. 16. Мощности 1992 г. и 2012 г., построенные на основе идентифицированных параметров $b = 0.41$ и $\mu = 4.5\%$

В заключение раздела результатов идентификации хотелось бы отметить ряд очевидных и подтвержденных статистикой и расчетами выводов.

Неравномерная загрузка мощностей. В основу модели было положено предположение об идеальной загрузке мощностей, т.е. загрузка более старой мощности производится после полной загрузки текущей мощности. Конечно, в реальности это недостижимо и труд распределен не оптимально. Таким образом, частично труд размещен и на “тяжелом хвосте” старого оборудования с возрастом 20-30 лет, который в РСФСР занимал меньшую долю в общем объеме мощностей M^{16} .

M2012, просадка 10 - 20. Технологии, возникшие в

чили наибольшую выгоду от произошедшего и происходящего роста.

¹⁶Политику правительства, проводимую в виде программ утилизации, расцениваем крайне положительно не только с точки зрения стимулирования продаж, но и в качестве крайне полезной меры по увеличению средней производительности труда за счет сокращения “тяжелого хвоста”.

мировой экономике в период 1990–2000 гг., в целом, упущены Россией ¹⁷. В 1991 г. производственные мощности возраста 10-20 лет присутствовали в большем объеме (технологии 1970 – 1980 гг.).

M2012=M1991 на интервале 0 - 10 Подающим надежды на возможность дальнейшего роста считаем тот факт, что инвестиции последнего десятилетия привели к тому, что Россия практически сравнялась по уровню новых мощностей возраста 0-10 лет с РСФСР.

Таким образом, можно считать, что на вопрос № 1, сформулированный нами на стр. 57, мы ответили.

3.4.3. Оптимальность идентификации

Полученные результаты идентификации представляют непосредственный интерес как с точки зрения их абсолютных значений, так и с точки зрения возможности проведения сценарных расчетов (см. разд. 3.4.5). При этом достаточно важным является вопрос о стабильности полученного решения.

В качестве оптимального решения нами выбрано решение, полученное на сетке $n = 100$, по причине того, что качественно значение F сравнимо со значениями, полученными на более плотных сетках, и потому что параметр μ , по нашему мнению, отражает среднюю скорость

¹⁷На вопрос о том, что делать с использованием технологий этого периода в настоящее время, мы бы ответили, что лучше не терять время на воссоздание этих технологий сейчас (проще импортировать их в готовом виде), а сосредоточиться на новейших технологиях, создаваемых в наши дни.

выбытия, а не ускоренную ($\mu = 0.08\%$), полученную при $n = 200, 300$. Одним из наиболее очевидных и наглядных приемов исследования поведения функции вблизи ее экстремального значения является построение линий уровня поверхности целевой функции. Так как используемый нами критерий оптимальности является функций трех переменных (μ, b, ν) , то необходимо рассмотреть три графика рис. 17.

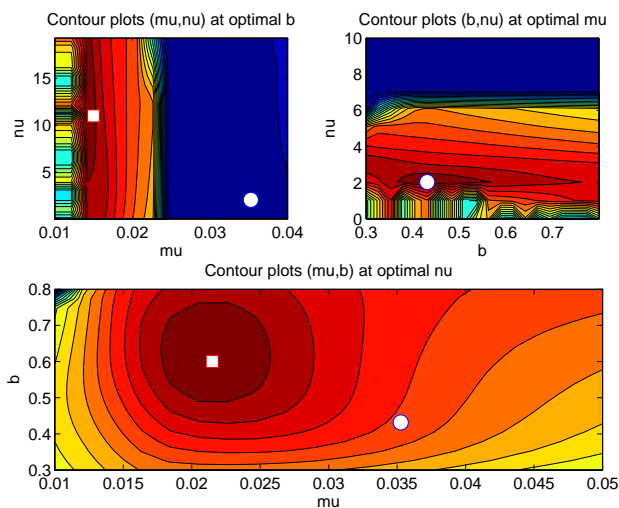


Рис. 17. Линии уровня для целевой функции $F(\mu, b, \nu)$ (3.11), маркер \circ – максимум функции двух переменных, при фиксированном (оптимальном) значении третьего параметра, маркер \square – визуальный экстремум

Линии уровня на рис.17 (μ, ν) и (b, ν) имеют сильно выраженный характер хребта, обе эти поверхности (функции

двух переменных) содержат в качестве одной из переменных параметр ν .

Очевидный экономический смысл данному явлению дать довольно сложно. Так, например, при $\nu = 1$ значения модельной величины $Y(t)$ оказываются в несколько раз больше значений статистики (вектор a_1 при этом значительно превышает 30 лет), при $\nu = 5$ модельная величина $Y(t)$ оказывается меньше статистики (вектор a_1 при этом значительно не превышает 10 лет). При $\nu = 10$ (максимум на диаграмме слева) значения a_1 не превышают 5 лет, при этом значения a_2 становятся отрицательными. Следует отметить тот факт, что на графике (b, ν) идентифицированный параметр и максимум в окрестности μ_{opt} совпали.

В целом, параметр ν создает два локальных экстремума (относительно переменной μ и b) для функции $F(\mu, b, \nu)$ – вблизи значения $\nu = 2$ и $\nu = 11$ при фиксированных b и μ .

Относительно характера линий уровня $F(\mu, b, \nu_{optimal})$ можно сделать следующие выводы:

1. Параметр $\mu_{opt} = 4.55\%$ является качественно приемлемым для такого рода моделей (Д.Форрестер [20] принимал в своих моделях темп деградации равным 2.5%, устав ФРС США, например, принимает естественным уровень инфляции равным 3%, который можно также связать с неким обобщенным темпом деградации). То, что идентифицированный нами показатель μ превышает эти абсолютные значения, считаем вполне нормальным, так как условия функционирования экономики в 90-х гг. вполне могли привести к ускоренному износу основных фондов

(что нашло отражение в параметрах идентифицированных на сетках $n = 200, 300$).

2. Существенное отличие (0.20) для $b_{opt} = 0.40$ от значения b , находящегося на вершине явно выраженного максимума $b = 0.60$, может быть объяснено фактором “теневой экономики”¹⁸, которая по оценкам [35] достигала в экономике России уровня 50-60% ВВП в начале и порядка 30-40% в конце декады. Иными словами, для поиска оптимального решения модель использует качественно ложные данные в части ВВП (Y) и “формальные” данные по инвестициям (без искажений теневым сектором). В итоге, мы расцениваем точку ($\mu = 0.02, b = 0.6$) как максимум, на котором достигается оптимальный выпуск Y , т.е. разрыв в коэффициенте b и разрыв в учете теневой экономики можно рассматривать как синонимы.

Выход производства из теневой экономики (из неформального сектора) в легальный сектор многими авторами рассматривается как основной источник роста в ближайшие пять-десять лет, особенно на фоне обострившихся внутренних и внешних проблем в осуществлении производственных инвестиций (в период работы над материалом) – это и проявившаяся стагфляция, и резкий удар внешних рынков, вызванный реакцией на вхождение Крыма в состав России, и последовавшая за этим череда взаимных санкций, и падение уровня рубля, снижающее возможности импорта фондообразующих продуктов, и падение цены на экспортируемую продукцию, снижающее до-

¹⁸Теневая экономика использует официальные фонды, но ее выпуск не входит в официальную статистику ВВП.

ходы бюджета и возможности государственного инвестирования.

Вывод 20% теневой экономики в формальный сектор может давать 2% роста ВВП ежегодно на протяжении десяти лет (таким образом, значение $\circ = (\mu_1, b_1)$ будет постепенно мигрировать к значению $\square = (\mu_2, b_2)$). Обсуждение потенциала роста за счет теневой экономики частично описывалось в работе [36]. “Рецепт” построения этого экстремума очевиден (но чрезвычайно трудно достижим):

- Ратификация Российской Федерацией ст. 20 Конвенции ООН против коррупции (ст.20 Незаконное обогащение)¹⁹.
- Продолжение политики наметившейся деофшоризации.
- Продолжение политики снижения наличного оборота денежных средств (параллельный запуск национальной платежной системы).

Значение экстремума $\circ = (\mu_1, b_1)$ является глобальным максимумом при фиксированном ν , значение которого также не может изменяться стремительно (на его изменения, существенные для значений выпуска, требуются десятилетия). Очевидно, что программа модернизации,

¹⁹Мы надеемся на то, что события 2014 г. будут являться одним из стимулов ратификации этой конвенции, для того чтобы на долгое время снизить потенциальную социальную напряженность, вызываемую этим социальным недугом в обществе (так как забыть то, что спуск аналогичной пружины социального напряжения в Украине послужил формальным для внешних источников силы “усилителем”, позволившим превратить государственность в руины, уже нельзя).

продолжаемая сейчас Президентом России (сформулированная как удвоение в течение десяти лет числа высокопроизводительных рабочих мест), – не что иное как увеличение параметра ν при одновременном увеличении доли современных мощностей, но, как показывает наша модель, проблема не столько в отсутствии мощностей, сколько в отсутствии трудовых ресурсов, способных загружать данные мощности²⁰.

3.4.4. Использование Simulink в различных режимах параллельных вычислений

Итоговая модель, реализованная средствами Simulink, имеет следующий вид (см. рис 18).

Большинство блоков модели, их предназначение было показано выше. Сама модель доступна по ссылке [bookhomepage](#).

Сравнение производительности (времени расчета) модели, реализованной на платформе MATLAB, с моделью, реализованной в Simulink, показало различие в десятки раз. Время работы MATLAB оказалось меньше – аналогичное соотношение сохранилось и при использовании рас-

²⁰В данном контексте проводимую пенсионную реформу, одним из положений которой является стимулирование продолжения трудовой деятельности после достижения пенсионного возраста, наряду с продолжающейся политикой стимулирования рождаемости можно рассматривать как попытку задержать высококвалифицированные предпенсионные кадры на рабочих местах до периода начала выхода на работу детей, число которых возросло в какой-то мере благодаря программе материнского капитала (начавшей действовать с 1 января 2007 г.).

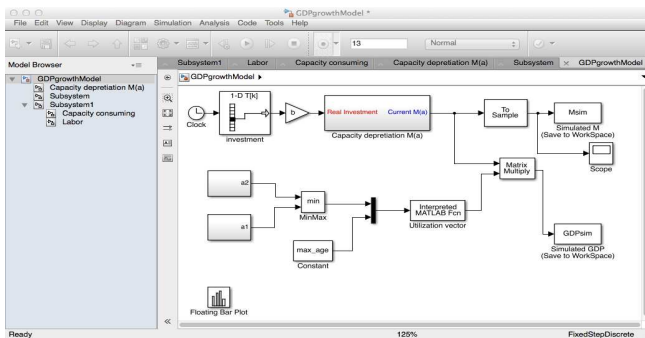


Рис. 18. Модель экономического роста, рассмотренная в данной главе. Реализация в Simulink

пределенных технологий.

Сказать однако, что на основе одного сравнительного примера Simulink не стоит применять для моделирования систем, которые можно реализовать программными средствами MATLAB, однозначно нельзя по нескольким причинам:

- реализация модели средствами Simulink могла оказаться неоптимальной, и ряд блоков или подсистем можно оптимизировать и изменить (для этой задачи в Simulink есть средства отладки - профилирования);
- моделирование ряда физических задач намного быстрее и надежнее можно реализовать именно в среде Simulink с помощью библиотеки готовых блоков, являющихся виртуальными осциллографами,

источниками разного рода сигналов, трансформаторами, узлами и средствами управления;

- самая главная причина, почему мы уделили описанию построения модели в Simulink так много внимания – это именно отсутствие практических примеров, иллюстрирующих приемы создания таких моделей в Simulink.

Стоит также отметить, что помимо недостатка внимания к среде Simulink как средству моделирования экономических процессов, описанию особенностей работы Simulink в распределенных (параллельных) режимах уделено также чрезвычайно мало внимания в работах на русском языке, хотя пользователи русскоязычного форума www.exponenta.ru довольно часто задают вопросы по данной тематике. Компания MathWorks в разделе вебинаров на русском языке разместила на данный момент только один вебинар, посвященный распределенному исполнению моделей Simulink²¹.

По мнению нашего авторского коллектива, технология применения средств распределенных вычислений, предлагаемая в данном вебинаре (по сути, иллюстрирующем штатную функциональность Simulink в части распределенных вычислений) не решает такой методической задачи, как приобретение пользователем знаний о механизмах MPI, и, скорее, зажимает его в predetermined рамки конфигурирования модели на уровне интерфейса, заставляя подгонять свою модель под имеющийся функционал Simulink (как, например, необходимость реализовы-

²¹<http://matlab.ru/videos/mnogozadachnoe-vypolnenie-modelej-simulink-na-mnogoyadernyh-processorah> .

вать отдельные наиболее ресурсоемкие подсистемы в модели (файлы mdl) Simulink).

Считаем однако, что ряд комментариев касательно особенностей запуска моделей Simulink в различных параллельных режимах будет полезен пользователям, начинающим использовать Simulink и сталкивающимся с необходимостью сокращения времени расчетов.

Модель расчета π в Simulink

В качестве примера, на основе которого будут продемонстрированы несколько приемов ускорения расчета, был использован уже знакомый многим читателям пример расчета числа π :

$$\pi = \int_0^1 \frac{4}{1+x^2} dx. \quad (3.12)$$

Детально пример параллельного вычисления значения числа π рассмотрен в стандартной документации пакета Parallel computing toolbox и работе [1]).

На рис.20 средствами Simulink реализована формула (3.12). Модель является дискретной и составлена из базовых объектов самого Simulink, без использования блоков из его специализированных пакетов.

Точность вычисления числа π зависит от параметра N , времени моделирования, этот параметр можно задавать программным образом, используя свойство модели **StopTime**. Каким именно образом это можно использовать в параллельном режиме показано ниже.

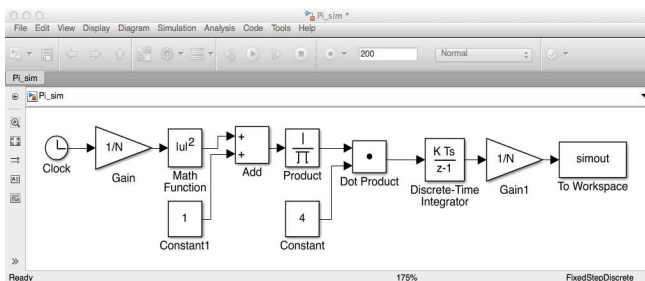


Рис. 19. Модель Simulink для вычисления значения числа π (Pisim.mdl)

Очевидно, что при разном значении константы N время расчета модели увеличивается (см. листинг файла программы запуска модели).

Поставим задачу следующим образом: запустить модель `Pisim.mdl` на разных рабочих, с разным значением параметра N (и соответственно времени моделирования).

Pmode и Simulink

Несмотря на то, что режим `pmode` является, по нашему мнению, средством для первоначального знакомства с возможностями параллельного программирования – его можно использовать и для расчета моделей Simulink с использованием разных рабочих с разными параметрами моделирования. Так, например, в файле сценария `picalc1.m` производится вызов модели `Pisim.mdl`, рис. 20 – значение функции `labindex`, а следовательно, и значение переменной N , устанавливающее предельное время моделирования.

ния, будут разными.

Листинг файла сценария `picalc1.m`

```
1 N=labindex*100;
2 slCharacterEncoding('windows-1252');
3 open_system('Pi_sim.mdl');
4 set_param('Pi_sim','StopTime',num2str(N));
5 sim('Pi_sim');
6 simout.data(end)
```

В первой строке происходит определение параметра N уже известным образом с использованием функции `labindex`; вторая строка устанавливает кодировку (эта техническая особенность запуска моделей подробно описана на сайте - форуме `exponenta`), третья строка открывает модель, четвертая строка устанавливает предельное время моделирования, следующая строка запускает модель на счет, и последняя строка считывает значение результата моделирования модели. Так как данный файл-сценарий будет выполняться на разных рабочих, то и значение параметра N будет разным.

Включив режим `pmode` в командной строке общей для обоих рабочих, необходимо вызвать файл `picalc1.m`. В результате этого файл-сценарий исполнится на обоих рабочих, соответственно одновременно будет загружена в рабочие области рабочих одна и та же модель Simulink, но значению параметра `StopTime` будут установлены разные значения. Результат вызова сценария `picalc1` представлен на рис. 20.

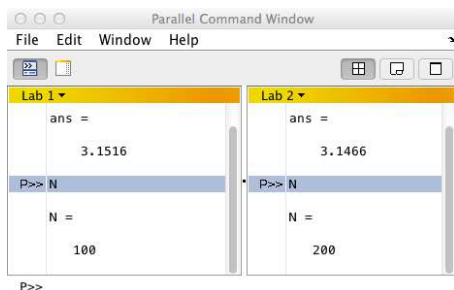


Рис. 20. Результат выполнения файла-сценария `picalc1`, содержащего вызов модели Simulink в режиме `pmode`

Spmd и Simulink

К сожалению, при вызове Simulink моделей в режиме `spmd`, по крайней мере в релизе R2014a приходится применять некоторые ухищрения в целях преодоления ограничений (см. документацию `spmd->Tips->Eliminations`)²².

Суть изменений, которые необходимо внести в синтаксис файла-сценария, заключается в том, что вызов модели и ее запуск осуществляется не в явном виде внутри окружения `spmd`, а через вызов функции, внутри которой уже происходит вызов модели и установка необходимых параметров (в качестве переменной на вход функции передается значение `labindex`).

Ниже представлен сценарий вызова функции `picalc`

²²Examples of some other functions that violate transparency are `evalc`, `evalin`, and `assignin` with the workspace argument specified as `'caller'`; `save` and `load`, unless the output of `load` is assigned to a variable.

из окружения `spmd`:

```
poolobj = parpool(2)
spmd
    x=picalc(labindex)
end
delete(poolobj)
```

при этом сам текст вспомогательной функции `picalc` приведен в листинге ниже.

Листинг файла сценария `picalc.m`, вызываемого из окружения `spmd` и исполняемого в рабочей области рабочего процесса

```
1 function x=picalc(y)
2     N=y*100;
3     slCharacterEncoding('windows-1252');
4     open_system('Pisim.mdl');
5     set_param('Pisim/Gain','Gain',num2str(1/N));
6     set_param('Pisim/Gain1','Gain',num2str(1/N));
7     set_param('Pisim','StopTime',num2str(N));
8     sim('Pisim');
9     x=simout.data(end)
```

У файла `picalc.m` есть особенность, которая отличает его применение от вызова модели в режиме `pmode`; эта особенность заключается в том, что без явного указания значения блокам `Gain` и `Gain1` (пятая и шестая строки листинга) модель исполняться не будет, несмотря на то, что значение переменной N определено выше во второй строке.

В результате вызова функции `x=picalc(labindex)` внутри окружения `spmd`, в рабочую область будут выведены значения переменных `x`, определенные на разных

рабочих:

Lab 1:

```
x =  
    3.1516
```

Lab 2:

```
x =  
    3.1466
```

Parfor и Simulink

В целом, режим вызова моделей Simulink в окружении режима `parfor` не отличается от рассмотренного выше вызова функции `picalc` из окружения `spmd`. Отличие заключается в том, что вместо `labindex` используется значение номера шага, которое, в свою очередь, зависит от того, какой рабочий его исполняет:

```
poolobj = parpool(2)  
parfor i=1:2  
    x=picalc(i)  
end  
delete(poolobj)
```

Описание режимов работы Simulink в распределенных режимах можно было привести и в первой части работы, однако нам хотелось, чтобы пользователи, не знакомые с особенностями работы в Simulink, шаг за шагом освоили базовые приемы и технику работы и уже в заключение познакомились с технологией ускорения расчетов.

Мы полагаем, что приведенные выше примеры использования режимов `pmode`, `spmd`, `parfor` будут полез-

ны в первую очередь тем многочисленным пользователям Simulink, практические задачи которых связаны с обработкой их моделями большого набора параметров (большой области определения модели) и поиском экстремальных или, наоборот, стационарных режимов.

В следующем разделе 3.4.5 будет изложена, по нашему мнению, одна из наиболее интересных частей работы, а именно применение идентифицированной модели к задаче сценарного моделирования.

3.4.5. Сценарные расчеты

Идентифицированные параметры модели, полученные в разделе 3.4.2, представляют собой снимок системы. Результатом идентификации является также построенный на основании полученных параметров профиль производственных мощностей M_{2012} .

Теперь, используя начальное приближение по M_{2012} и предположения (сценарии развития) относительно изменений параметров b и μ , можно провести расчет прогнозных значений суммарного выпуска (ВВП) и динамики суммарного объема мощностей M .

Все рассматриваемые ниже сценарии будут просчитаны на периоде с 2014 г. до 2035 г. ($\simeq 20$ лет). В сценарных численных расчетах по идентифицированной модели мы заведомо не используем больший срок (50–100 лет), по той причине, что не учитываемый здесь научно-технический прогресс (НТП) на таких интервалах времени заведомо окажет значительное влияние на рассматриваемый процесс.

В то же время считаем, что период прогноза на двадцать лет является компромиссным и в плане устойчивости системы на таком промежутке, и в плане того, что двадцать лет — срок, достаточный для проведения соответствующих экономических, институциональных и политических реформ (необходимых для управления параметрами μ , ν , b).

Сценарий № 1, базовый (пассивный сценарий)

1. **Норма инвестирования**, отношение инвестиций (без учета фондоемкости к ВВП данного года) – будем предполагать, что Правительство и частные предприятия продолжат тренд второй половины 2000-х и данное отношение будет составлять 22%²³.
2. **Коэффициент приростной фондоемкости** $1/b$ – будем предполагать, что технологические условия и отношение к коррупции, и сложности с инсталляцией и расширением для частного бизнеса не изменятся, следовательно, обратная величина к коэффициенту приростной фондоемкости $b = b_{id} = 0.45$.
3. **Темп деградации** μ – остается неизменным на естественном уровне 3% (полученным при идентификации).
4. **Предложение труда** $L(t)$ – будем предполагать, что политика стимулирования рождаемости²⁴, повышение пенсионного возраста приведут к тому, что предложение труда будет постоянным на протяжении ближайших двадцати лет и равно 75 млн.

²³Заметим, однако, что величина инвестиций порядка 20% является нормой для развитых стран, при этом для развивающихся стран: Индия, Китай – данное отношение составляет 30–40%.

²⁴Джим О’Нил в работе [23] отдает должное В.В. Путину за его инициативу по запуску проекта “материнского капитала” и утверждает, что Россия при ее уровне наукоемких фондов (доставшихся от СССР) не требует роста населения (трудовых ресурсов) и что ей достаточно только поддерживать численность населения на текущем уровне, чтобы оставаться в БРИКС, показывая при этом рост 5-6% (двузначный рост ей также не нужен).

5. **Наименьшая трудоемкость ν** – остается неизменной на уровне, определенном при идентификации модели. Это предположение означает отсутствие научно-технического прогресса. Значит, средняя производительность труда может меняться только при значительном изменении структуры распределения производственных мощностей.

Результаты расчета по базовому сценария

Результаты, полученные при расчете базового сценария по идентифицированной модели (см. стр. 99), показаны на рис.21.

1. На графике изменения валового внутреннего продукта (ВВП, на графике он обозначен англоязычной аббревиатурой GDP) в постоянных ценах 2005 г. виден слабый медленно падающий рост вначале прогнозного расчета, при этом ВВП к 2025 г. выходит на асимптотическую траекторию. Прирост реального ВВП за двадцать лет составляет только 12.35%.
2. Загрузка суммарной производственной мощности (на графике она обозначена CAU), вернувшаяся в 2013 г. на максимум (уровень докризисного 2008 г.), начинает постепенно снижаться, что связано, очевидно, с отсутствием прироста в человеческих ресурсах, способных загружать имеющиеся мощности. Максимальный возраст полностью загруженной мощности в течение пяти лет с 2015 г. до 2020 г. снижается с двадцати одного года до пятнадцати лет. Это также свидетельствует о недостатке людских ресурсов для загрузки мощностей.

3. Доля инвестиций в валовом внутреннем продукте (на графике обозначена англоязычной аббревиатурой инвестиций GFCF) фиксирована на постоянном уровне.
4. Самым существенным отличием производственных мощностей в 2035 г. M2035 по сравнению с мощностями M2013, является отсутствие глубокой просадки (на мощностях двадцатилетнего возраста). При этом на качественном уровне реальный объем мощностей практически не отличается от M2013.

Промежуточный вывод

При реализации базового сценария (при сохранении нормы приростной фондоемкости, доли инвестирования в ВВП, эффективности производства), экономика России в 2035 г. будет представлять из себя практически то же самое, что и сейчас. Реальный рост благосостояния на 12-15 % за двадцать лет будет практически неощутим для населения и, скорее всего, уже через десять лет начнет приводить к росту недовольства качеством жизни.

Сценарий № 2, официальный

Противоположным базовому сценарию, является сценарий, лежащий в основе экономической политики государства, провозглашенный Президентом в 2012 г. Указ «О долгосрочной государственной экономической политике» [26]²⁵ был подписан Президентом Российской Федерации В.В. Путиным 7 мая 2012 г.

Поставленные в Указе цели мы постарались переформулировать в терминах модели и соотнести с горизонтом моделирования.

Часть текста Указа:

В целях повышения темпов и обеспечения устойчивости экономического роста, увеличения реальных доходов граждан Российской Федерации, достижения технологического лидерства российской экономики постановляю:

1. Правительству Российской Федерации принять меры, направленные на достижение следующих показателей:
 - а) создание и модернизация 25 млн. высокопроизводительных рабочих мест к 2020 году;
 - б) увеличение объема инвестиций не менее чем до 25 процентов внутреннего валового продукта к 2015 году и до 27 процентов – к 2018 году;
 - в) увеличение доли продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей экономики в валовом внутреннем продукте к 2018 году в 1,3 раза, относительно уровня 2011 года;

²⁵<http://kremlin.ru/news/15232>.

- г) увеличение производительности труда к 2018 году в 1,5 раза, относительно уровня 2011 года;
- д) повышение позиции Российской Федерации в рейтинге Всемирного банка по условиям ведения бизнеса со 120-й в 2011 году до 50-й – в 2015 году и до 20-й – в 2018 году.

Основные параметры указа (которые можно перевести на язык модели) следующие²⁶:

1. **Норма инвестирования** – доля инвестиций в ВВП. Для этой величины в подпункте б) процитированного выше первого пункта Указа приведена нижняя граница, которая должна быть достигнута. Норма инвестирования используется в модели в качестве одного из параметров (на графиках этот показатель обозначен англоязычной аббревиатурой инвестиций GFCE).
2. **Наименьшая трудоемкость** ν характеризует производительность труда, используемую в подпункте г) Указа в качестве одной из целей, и долю продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей экономики, указанную в подпункте в). Эти показатели напрямую невозможно перевести в используемые параметры модели, так как в модели средняя производительность труда определяется не параметром, а выражением Y/L . Доля высокотехнологичных и наукоемких отраслей в ВВП в модели напрямую не оценивается. Ограничимся здесь предположением, что

²⁶Будем считать, что после окончания срока, указанного в Указе, соответствующий параметр остается неизменным.

повышение средней производительности труда в 1.5 раза к 2018 г. сопровождается снижением наименьшей трудоемкости на 20% (параметр ν постепенно снижается к 2018 г. до уровня $\nu_{2018} = \nu_{2012}/1.2$, а затем фиксируется на достигнутом значении).

3. **Обратная величина к коэффициенту фондоемкости b** характеризует условия ведения бизнеса в России. Условия ведения бизнеса улучшаются со снижением уровня коррупции, что выражается в росте параметра b , используемого в модели. Показатели подпункта д) Указа можно воспринимать как некий обобщенный показатель фондоемкости, если рассматривать шкалу мест в рейтинге, как отрезок $[120; 20]$ по аналогии со шкалой $b = [0.4; 0.6]$ (по сути, в данном пункте в явном виде уже заложена и задача по борьбе с коррупцией, и уже наметившаяся деофшоризация)²⁷.
4. **Предложение труда $L(t)$** связано с демографией, миграцией населения и со спросом на труд со стороны производителей, т.е. зависит от числа предлагаемых высокопроизводительных рабочих мест (подпункт а) Указа). В сценарных расчетах будем полагать, что предложение труда будет постоянным на протяжении ближайших двадцати лет и равняться 75 млн. рабочих мест.

²⁷Вариант с достижением b значений, больших, чем 0.6, мы не рассматриваем, так как эти значения характерны для развитых экономик (коэффициент b которых соответствует значениям, близким 0.8).

5. **Темп деградации мощностей** μ будем полагать неизменным, равным найденному оптимальному значению.

В целом данный сценарий мы рассматриваем как довольно амбициозный. При этом считаем, что его в новых условиях если и можно будет выполнить, то на горизонте в десять лет, а не за пять лет, как это предполагается в Указе. Параметры данного Указа не только предопределяют траекторию структурных изменений в экономике, но, в первую очередь, ставят задачу качественного изменения уровня жизни, жизненных стандартов, которые можно достичь в течение десятилетия.

Результаты моделирования официального сценария

Результаты, полученные при моделировании официального сценария, показаны на рис.22.

1. Стремительный рост ВВП (на графике обозначен GDP) с темпом 4-7% в течение пяти лет, а затем постепенное снижение до практически нулевого роста в 2025 г.
2. Максимальная загрузка производственных мощностей (загрузка мощностей обозначена CAU) в 80-85% вплоть до 2018 г., а затем постепенное снижение загрузки до уровня 40% в 2035 г.
3. Кардинальным отличием профиля M2035 от M2013 является не только отсутствие ямы в возрасте двадцати лет на двадцатилетнем интервале, но и существенное отличие в части объемов (совершенно иной уровень оснащенности).

Промежуточный вывод

Реализация официального сценария дает возможность достичь не только существенного прироста благосостояния на 42% (до 2025 г.) с последующем сохранением этого уровня (для сравнения укажем, что рост благосостояния в виде реального роста ВВП за период 2000-2008 гг. составил 58%), но и серьезным образом перевооружает экономику, что выражается не только в росте производственных мощностей, но и в существенном снижении приростной фондоемкости и повышении средней производительности труда (именно эти параметры являются основными драйверами для роста ВВП в официальном сценарии).

Промежуточные итоги

В заключительной части, подводя итоги моделирования двух сценариев развития экономики (см. рис.23) следует отметить, что они оба есть результат определенного воздействия на параметры системы (управляемые воздействия).

Напомним, что описанная нами производственная функция является эндогенной, т.е. факторы ее роста определяются внутренними свойствами, а не внешними воздействиями, к каким можно отнести, например, экономические санкции, которые непременно будут являться помехами для реализации официального сценария (**а может быть, наоборот, будут являться причиной, по которой этот сценарий станет неизбежным**), но такой задачи по оценке влияния санкций здесь мы перед собой и не ставили. Считаем, что на вопросы, заданные на стр. 57, мы ответили полностью.

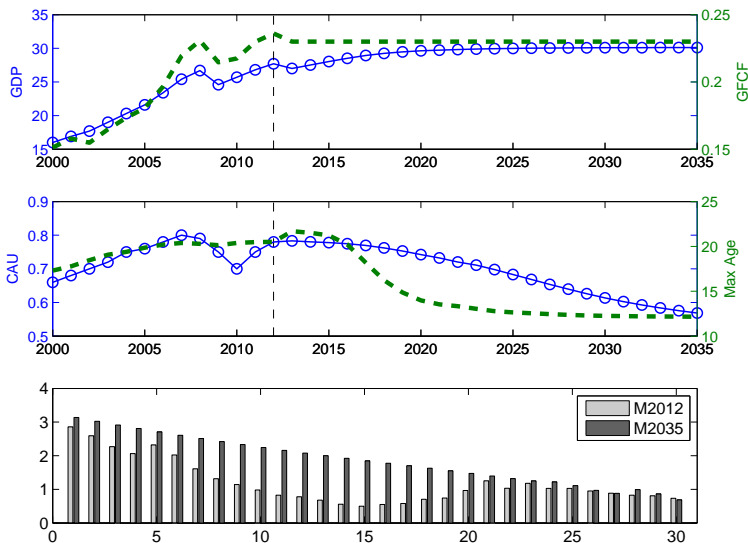


Рис. 21. ВВП в постоянных ценах (GDP), доля инвестиций в выпуск (GFCF), загрузка мощностей (CAU) и максимальный возраст (MAX AGE) загруженной производственной мощности (статистика до 2012 г., расчет по модели после 2012 г.). Сравнение M2012 и M2035

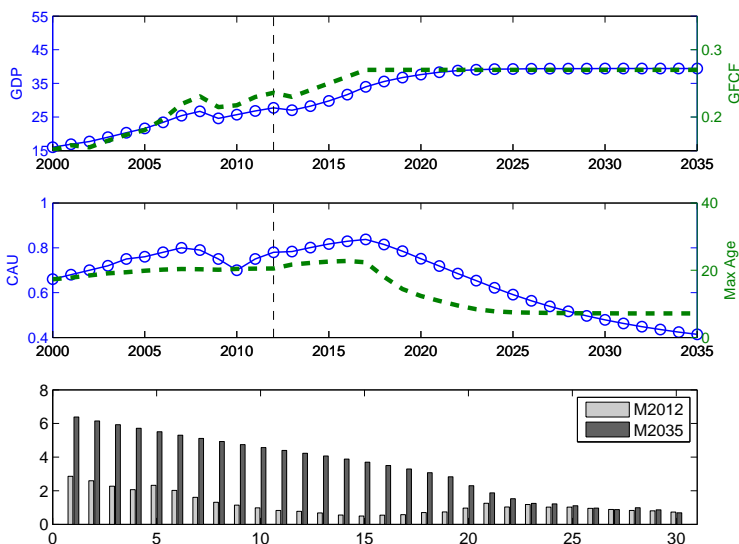


Рис. 22. ВВП (GDP), доля инвестиций в выпуске (GFCF), загрузка мощностей (CAU) и максимальный возраст (MAX AGE) загруженной производственной мощности (статистика до 2012 г., модельные данные после 2012 г.). Сравнение M2012 и M2035

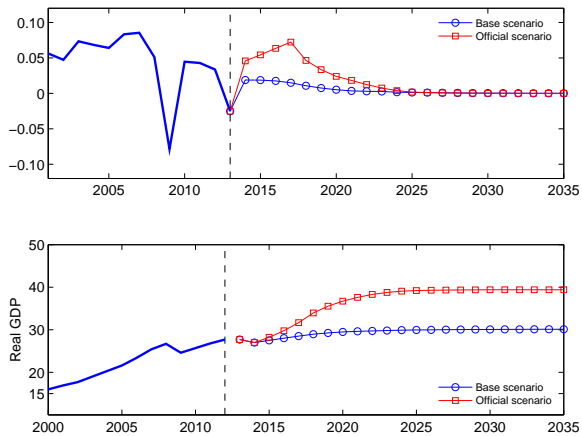


Рис. 23. Сравнение динамики роста ВВП по двум сценариям: базовому и официальному

Заключение

В представленной работе мы, как и прежде в [1], постарались привлечь внимание математиков, исследователей, использующих в своих расчетах ресурсоемкие математические модели, к теме снижения вычислительного времени с использованием технологии параллельного программирования в среде MATLAB и дополнительно в среде Simulink. Как и в предыдущей работе, мы здесь не ставили своей целью описание низкоуровневых особенностей реализации парадигмы параллельного программирования в указанных средах, а старались лишь показать базовые приемы, которые тем не менее можно использовать в целях ускорения расчетов.

В первой главе представлены обновления пакетов MATLAB за последние годы, продемонстрирована процедура настройки и запуска параллельных режимов. На приведенных нами примерах в работе [1] и в гл. 1, можно убедиться, что, единожды освоив технологию построения и запуска кластера с использованием MATLAB, для пользователя не составит труда адаптировать свои параллельные программы к новым версиям синтаксиса и объектов параллельного пакета MATLAB, который несомненно будет изменяться в последующих версиях в силу непрерывного

развития технического и программного обеспечения.

В первой главе были также представлены в качестве иллюстраций примеры именно параллельных программ, которые за исключением одного казалось бы не имеют практического значения. На этих примерах пользователь видит, как процессы обмениваются между собой информацией, работают над задачей в параллельном режиме (программа жонглирования).

Протестировав, опробовав работу со средствами параллельного программирования в среде MATLAB, можно утверждать, что данную платформу можно рассматривать как среду для первого знакомства пользователя с функциями MPI [12, 37]. В дальнейших исследованиях при использовании более сложных платформ разработки параллельных программ, проблема осознания парадигмы параллельного программирования стоять перед пользователем уже не будет.

Реализация задачи построения динамической модели экономики [1] с помощью средств Simulink была использована нами во второй главе с одной главной целью – познакомить читателя с технологией применения Simulink в задачах построения экономических моделей. Именно поэтому было пошагово представлено построение математической модели, запуск ее программной реализации на счет, представлены с комментариями основные ошибки, не позволяющие пользователям, впервые сталкивающимся с Simulink, быстро описать свою модель и запустить ее на счет.

Платформа Simulink несомненно отличается от платформы MATLAB, причем отличается кардинально, настолько, что можно сказать что это иная парадигма мыш-

ления, парадигма динамического моделирования, ведь любое новое поле Simulink – это по сути новый блок дифференциального уравнения.

Освоение данной парадигмы в любом объеме несомненно расширяет кругозор исследователя и его восприятие строящейся математической модели.

Другой целью второй главы было наше желание сравнить результаты базового сценарного прогноза монографии [1], оказавшегося таким точным в определении даты кризиса реального сектора российской экономики 2008 г., с фактическими статистическими данными по динамике реального ВВП с 2007 г. по 2014 г.

В [1] была рассмотрена задача идентификации модифицированной под российскую экономику открытой модели Рамсея. При идентификации этой модели по статистическим данным экономики России 2000-2006 гг. поиск глобального экстремума близости расчетных макропоказателей с их статистическими аналогами привел к неожиданному результату отрицательного темпа выбытия капитала, т.е. фактически к бесплатному дополнительному источнику роста капитала. Этот результат был переинтерпретирован.

Отрицательный темп выбытия капитала означает, что капитал откуда-то прибывает с темпом, превышающим ввод новых производственных фондов. После 2000 г. начался процесс импортозамещения, улучшилась управляемость экономикой, и часть неиспользуемого в 1990-е гг. капитала стала возвращаться в производственный процесс.

К сожалению, это же означает, что такой механизм роста, обусловленный по большей части не созданием новых производственных мощностей, а возобновлением ра-

боты остановленных в 1990-е гг. предприятий, не вечен, поскольку старый капитал ограничен объемом, оставшимся от советских времен. Была сделана оценка момента времени, когда процесс возобновления работы старых производственных мощностей закончится. Грубая оценка [1] показала, что этот процесс возобновления работы старых мощностей продлится восемь лет после 2000 г.

Именно в 2008 г. случился финансовый кризис, и если другие страны БРИК только замедлили свой рост, экономика России в 2009 г. испытала падение ВВП на 7.9%. К сожалению, реально происходящие изменения в экономике России до сих пор не выходят далеко за границы прогноза [1]. Падение в 2009 г. было чуть сильнее, затем небольшой рост привел к некоторому восстановлению, в результате чего реальная кривая ВВП приблизилась к прогнозной кривой.

В третьей главе на основе работы [21], была сформулирована задача построения эндогенной производственной функции для эндогенной математической модели экономического роста и ее идентификации по статистическим данным для экономики России. В основе описания эндогенной производственной функции народного хозяйства страны или некоторой отрасли экономики лежит математическая модель, описывающая на микроуровне динамику производственных мощностей, дифференцированных по моментам создания и имеющих различную трудоемкость. С помощью данной модели мы постарались решить следующие задачи:

- демонстрация улучшения (с точки зрения обусловленности) задачи идентификации параметров в моделях реальных экономических систем на основе дан-

ных официальной статистики. Как правило все “интересные” задачи являются плохообусловленными;

- анализ полученного решения (точки на поверхности многомерной функции оптимальности), оно было проанализировано с помощью средств визуализации многомерных массивов²⁸;
- совмещение описания реальной экономической системы в математической модели на языке формул с техническими аспектами программной реализации модели, попытка простыми средствами популярных пакетов показать реализацию всех основных блоков (подсистем) модели, а также описать процедуру преобразования последовательной программы в программу, исполняемую в распределенном режиме (при реализации модели как в MATLAB, так и в Simulink).

В последней части третьей главы мы использовали идентифицированную модель для изучения достижимости так называемых «майских указов Президента РФ». Указы, подписанные в мае 2012 г., тем не менее и сейчас в 2015 г. во многом определяют экономическую политику страны. Нередко можно услышать, как руководители регионов, отчитываясь о текущем положении дел в регионе, отдельно комментируют исполнение майских указов, либо сам Президент спрашивает руководителей регионов, Правительства об их исполнении.

Несомненно у читателей, близко знакомых с тематикой экономического моделирования, возникнут вопросы о том,

²⁸Как нам кажется, в этой области (Technical computing and visualization) MATLAB бесспорный лидер.

насколько правомерно использовать параметры идентифицированной нами модели к задаче моделирования «майских указов», однако мы считаем, что на качественном уровне модель, описанная нами, полностью подходит для этих целей (на все допущения о значениях соответствующих параметров были представлены соответствующие комментарии).

Полученная в результате моделирования динамика ВВП и производственных мощностей оказалась впечатляющей: стремительный рост ВВП на протяжении 7-8 лет (3-7%) сменяющийся плавным ростом (выходом на уровень 0.5-1%) в последующие 15 лет, говорит о том, что в «майские указы» заложено качественное изменение уровня жизни (его скачок). По нашему мнению, «майские указы» есть не что иное, как ответ руководства (правлящей элиты) на запрос, который сформировало общество, ощутившее за период «нулевых» если не удвоение, то почти удвоение уровня жизни. При этом риск, основанный на вере в постоянно растущую (либо постоянную) нефтяную ренту, оказался для элит неприемлемо высоким (кризисы 2008 г. и 2015 г. показали, что цена нефти может значительно падать). Пессимистический сценарий, основанный на консервации развития, как нам кажется, также неприемлемо рискованный для российского общества по той же причине (причине сформировавшегося запроса). С высокой долей вероятности можно утверждать, что общество не выдержит двадцать лет стагнации.

Еще раз хотелось бы отметить, что события 2014 г. не нашли отражения ни в модели, ни в имеющихся у нас статистических данных в связи с высокой скоростью развития событий. При этом косвенно можно говорить о том,

что программа импортозамещения в оборонной и сельскохозяйственных отраслях гарантированно будет способствовать росту производственных мощностей (росту вектора инвестиций (I)). Как это ни грустно звучит, вынужденные переселенцы из восточной Украины в большей своей части, скорее всего, останутся в регионах временного размещения, тем самым способствуя росту российских трудовых ресурсов (L).

Дальнейшая работа

В рамках продолжения исследований, тестирования возможностей применения MATLAB нами планируется рассмотреть в части использования дополнительных технических возможностей ускорения вычислений применение видеокарт (технология CUDA). В части практического применения параллелизма программ планируется рассмотреть решение задачи о минимуме потенциальной энергии молекул. Последняя задача интересна как с точки зрения своей физики (разные положения узлов молекулы по сути есть разные вещества), так и с математической точки зрения – сам функционал является многоэкстремальным, ну и, конечно, с точки зрения задачи программирования самой по себе, которая связана с распараллеливанием алгоритма поиска минимума.

В части продолжения работы по моделированию экономического роста нам кажется достаточно интересной задача об исследовании экономического роста двух взаимодействующих стран, роста, вызванного взаимным проникновением или заимствованием технологий/ресурсов [38] (при

внешнем тормозящем воздействии)²⁹.

Интересна и более простая модель экономики одной страны, в которой, с одной стороны, учитывается открытость экономики, например, как в модели типа Рамсея, использованной в [1], так и эндогенный экономический рост, как, например, тот, что заключен в численном построении эндогенной производственной функции, использованной в настоящей монографии.

После построения такой открытой динамической модели экономики с эндогенным ростом и идентификации ее параметров интересно будет исследовать устойчивость прогнозирования по такой модели с помощью метода множеств идентификации, представленного в работе [5] исследованием устойчивости прогнозирования по модели Рамсея. Там оказалось, что глобальный экстремум свертки ошибок идентификации, найденный еще в конце 2006 г., не является устойчивым. От наших сегодняшних действий зависит будущее нашей экономики.

²⁹Например, при воздействии третьей страны.

Литература

1. *Оленев Н.Н., Печенкин Р.В., Чернецов А.М.* Параллельное программирование в MATLAB и его приложения. М.: ВЦ РАН, 2007. 120 с.
<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.1766.4481>
2. *Оленев Н.Н.* Исследование влияния структурных изменений на экономику России. Вестник Российского университета дружбы народов Серия Экономика. 2015, № 1. С.150-157.
3. *Olenev N.* A Ramsey type model with an endogenous production function for study of economic systems. 10th International Conference “Economic Integration, Competition and Cooperation” (April 22-24, 2015). Book of Abstracts. Opatija-Croatia-Hotel Ambassador: University of Rijeka, 2015. P.54.
4. *Olenev N.* Parallel algorithms of global optimization in identification of an economic model. CEDIMES Scientific Seminar at Dorodnicyn Computing Centre – Moscow: CEDIMES-Russie occ., Vol. 1, No. 1, 2015. P.45-49.

5. *Каменев Г.К., Оленев Н.Н.* Исследование устойчивости идентификации и прогнозирования российской экономики на модели Рамсея. Математическое моделирование, М.: Т. 26. № 9. С.3-17.
6. *Kamenev G.K., Olenev N.N.* Study of the Russian Economy's Identification and Forecast Stability Using a Ramsey Type Model // Mathematical Models and Computer Simulations, Vol. 7, No. 2, 2015, P.179-189. DOI [10.1134/S2070048215020076](https://doi.org/10.1134/S2070048215020076)
7. *Оленев Н.Н., Каменев Г.К., Гусман В.Л.* Исследование устойчивости прогнозирования на модели российской экономики методом множеств идентификации. Москва.: ВЦ РАН, 2012. 50 с.
8. *Медведев Д.А.* Распоряжение 1273 - р. О внесении изменений в перечень технологий, имеющих важное социально-экономическое значение или важное значение для обороны страны и безопасности государства (критических технологий). 14 июля 2012 года.
9. *Чернецов А.М.* Использование GPU в MATLAB. “Международный форум информатизации МФИ-2011 // Труды международной конференции “Информационные средства и технологии”. Т.2, Москва, 18-20 октября 2011 г. С.315-317.
10. *Чернецов А.М.* Использование средств MATLAB для организации распределенной обработки // Инфорино-2012. Труды международной конференции “Информатизация инженерного образования”, Москва, 10-11 апреля 2012 г. С.127-130.

11. *Чернецов А.М.* Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Методы и программные средства организации эффективных вычислений для расчета электронной структуры больших молекулярных систем. 2012.
12. *Долматова А.И., Оленев Н.Н.* Моделирование динамики социальной стратификации: параллельные алгоритмы и программы. М.: ВЦ РАН, 2014. 112 с.
13. *Журтов А.Ю.* Модель анализа прогнозирования и регулирования экономики России // CEDIMES Scientific Seminar at Dorodnicyn Computing Centre. Vol. 1, No. 1. P.7-11.
14. *Журтова С.А.* Идентификация модели экономики Японии // CEDIMES Scientific Seminar at Dorodnicyn Computing Centre. Vol.1, No.1. P.12-17.
15. *Ресса Прохорова К.С.* Модель экономики Италии // CEDIMES Scientific Seminar at Dorodnicyn Computing Centre. Vol.1, No.1. P.27-32
16. *Кепнер Дэс.* Параллельное программирование в среде MATLAB для многоядерных и многоуровневых вычислительных машин. М.: Изд-во МГУ, 2013. – 296 с. (Серия «Суперкомпьютерное образование»)
17. Программное обеспечение кластера «Уран». <http://parallel.uran.ru/node/91>
18. *Цисарь И.Ф.* MATLAB Simulink. Компьютерное моделирование экономики. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008.– 256 с.

19. *Anderson, Patrick L.* Business Economics and Finance with MATLAB, GIS, and Simulation Models. CRC Press 2004.
20. *Форрестер, Джей.* Мировая динамика. М.:1978, 210 с.
21. *Оленев Н.Н., Петров А.А., Поспелов И.Г.* Модель процесса изменения мощности и производственная функция отрасли хозяйства // Математическое моделирование: Процессы в сложных экономических и экологических системах. М.: Наука. 1986, С.46-60. DOI: 10.13140/RG.2.1.3938.8880
22. *Котликофф Л. Бернс С.* Пенсионная система перед бурей: То, что нужно знать каждому о финансовом будущем своей страны. М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. 250 с.
23. *O'Neill, Jim.* The Growth Map: Economic opportunity in the BRICs and beyond. Penguin 2011.
24. *O'Neill, Jim.* The BRIC road to growth (Perspectives). London: London Publishing Partnership 2013.
25. *О'Нил, Джим.* Карта роста. Будущее стран БРИК и других развивающихся рынков. М.: Litres, 2013. 180 с.
26. *Путин В.В.* Указ о долгосрочной государственной экономической политике N 15232. 7 мая 2012.
27. [MathWorks, Matlab functions parallelism description.](#)
28. [MPI-2 page](#)
29. [MathWorks, Matlab R2014 Mpi functions build-on.](#)

30. [MathWorks, Matlab R2012 parallel realize.](#)
31. *Черных И.В.*. Simulink: среда создания инженерных приложений. М.: Диалог-МИФИ. 2003, 300 с.
32. *Макарова М.А., Оленев Н.Н.* К модели инвестиционной политики фирм с учетом обучения персонала // VII Московская международная конференция по исследованию операций (ORM2013), Москва, 15-19 октября 2013. Труды. Т.2. С.83-86.
33. [National Accounts Main Aggregates Database.](#)
34. *Kar, Dev and Freitas, Sarah.* Structural Challenges to Growth Become Binding. World Bank Russia Economic Report. 30, September 2013.
35. *Kar, Dev and Freitas, Sarah.* Global Financial Integrity and Ford Foundation. Russia: Illicit Financial Flows and the Role of the Underground Economy. JOUR 2013.
36. *Гуриев С.М., Качинс Э., Ослунд А.* Россия после кризиса. М.: Альпина Бизнес Бук, 2011. 120 с.
37. Оленев Н.Н. Основы параллельного программирования в системе MPI. М.: ВЦ РАН. 2005. 80 с. [DOI:10.13140/RG.2.1.4912.1767](#)
38. *Акаев А.А., Коротяев А.В., Малков С.Ю.* Мировая динамика: Закономерности, тенденции, перспективы. М.: КРАСАНД. 2013. 320 с.

Оленёв Николай Николаевич,
Печёнкин Руслан Викторович,
Чернецов Андрей Михайлович

**Параллельное программирование в MATLAB и
Simulink с приложениями к моделированию
экономики**

Подписано в печать 28.05.2015
Формат бумаги 60x84 1/16
Уч.-изд. л. 5. Усл.-печ.л. 7,75
Тираж 120 экз. Заказ 42

Отпечатано на ротапринтах
в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки
Вычислительный центр им. А.А. Дородницына Российской академии наук
119333, Москва, ул. Вавилова, 40