

УДК: 519.876.5

DOI: 10.33764/2618-981X-2021-3-1-233-239

## **ЯЗЫК КОМБИ – СРЕДСТВО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ В МПК АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЭКОНОМИКИ**

*Наимджон Мулабоевич Ибрагимов*

Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1, зам. декана ЭФ НГУ, доцент; Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 17, старший научный сотрудник, e-mail: naimdjon.ibragimov@nsu.ru

*Виталий Сергеевич Костин*

Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 17, старший научный сотрудник, e-mail: vit.kostin@gmail.com

Одним из эффективных инструментов для решения прикладных задач анализа и моделирования пространственной экономики являются оптимизационные межрегиональные межотраслевые модели. В настоящее время в ИЭОПП СО РАН разработано и внедрено несколько вариантов Модельно-Программного Комплекса Оптимизационной Межрегиональной Межотраслевой Модели «МПК ОМММ», которые используются для согласования макроэкономических, отраслевых и региональных долгосрочных прогнозов в регулярном режиме и для экспериментальных расчетов прогнозных вариантов развития национальной экономики Российской Федерации.

В данной работе обсуждается один из способов представления оптимизационных моделей типа ОМММ, основанный на использовании языка КОМБИ-2000 (Комплекс обработки матричных блоков информации, версия 2000 года), который является инструментом описания пред- и послеоптимизационных вычислений, средством связи с пакетом оптимизации и отражающий базу данных и запись математических моделей в достаточно удобной и упрощенной структуре для пользователей.

**Ключевые слова:** КОМБИ, ОМММ, МПК, межрегиональные межотраслевые модели, пространственная экономика

## **COMBI LANGUAGE – A MEANS OF PRESENTING OPTIMIZATION MODELS IN THE IPC OF ANALYSIS AND FORECASTING OF SPATIAL ECONOMY**

*Naimdzhon M. Ibragimov*

Novosibirsk State University, 1, Pirogov St., Novosibirsk, 630090, Russia, Candidate of Sciences (Economics), Vice Dean, Institute of Economics and Industrial Engineering of SB RAS, 17, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, Senior Researcher, e-mail: naimdjon.ibragimov@nsu.ru

*Vitaly S. Kostin*

Institute of Economics and Industrial Engineering of SB RAS, 17, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, Senior Researcher, e-mail: eryus@mail.ru

One of the effective tools for solving applied problems of analysis and modeling of the spatial economy are optimization interregional intersectoral models. Currently, IEIE SB RAS has developed and implemented several versions of the Model-Program Complex of the Optimization Interregional Interindustry Model "MPK OMMM", which are used to coordinate macroeconomic, sectoral and regional long-term forecasts on a regular basis and for experimental calculations of forecast options for the development of the national economy of the Russian Federation .

This paper discusses one of the ways to represent optimization models of the OMMM type, based on the use of the COMBI-2000 language (Complex for processing matrix information blocks, version 2000), which is a tool for describing pre- and post-optimization calculations, a means of communication with the optimization package and reflecting a database and recording mathematical models in a fairly convenient and simplified structure for users.

**Keywords:** COMBI, OMMM, IPC, interregional intersectoral models, spatial economics

### *Введение*

Одним из эффективных инструментов для решения прикладных задач анализа и моделирования пространственной экономики являются оптимизационные межрегиональные межотраслевые модели [1–4]. В настоящее время в ИЭОПП СО РАН разработано и внедрено несколько вариантов Модельно-Программного Комплекса Оптимизационной Межрегиональной Межотраслевой Модели «МПК ОMMM», которые используются для согласования макроэкономических, отраслевых и региональных долгосрочных прогнозов в регулярном режиме и для экспериментальных расчетов прогнозных вариантов развития национальной экономики Российской Федерации, оценка роли территориального и внешнеэкономического факторов в формировании пространственной структуры экономики [5, 6].

Оптимизационные межрегиональные межотраслевые модели представляют собой результат такого объединения региональных моделей, при котором сохраняются все условия и информация региональных моделей и включаются условия согласования межрегиональных связей. При этом сохраняются возможности выбора межотраслевых и межрегиональных связей с точки зрения определенных критериев [7]. Поэтому такие модели применяются как инструменты оценки возможностей регионов, обоснований вариантов региональных структур производства и использования ресурсов, альтернатив территориального размещения производства, соотношений спроса и предложения, условий экономического равновесия. Основные элементы ОMMM – это критерии оптимальности, условия региональных межотраслевых блоков (включая особенности транспорта), условия межрегиональных связей.

По своему экономическому содержанию ОMMM являются инструментом получения системы взаимосвязанных непротиворечивых межотраслевых балансов регионов и оптимизации их совокупности по выбранному критерию (как правило, это максимизация используемого конечного продукта или конечного потребления в заданной отраслевой и территориальной структуре). Оптимальное решение модели представляет собой фиксированное состояние рынка, на котором достигнуто равновесие между спросом и предложением на взаимосвязанных рынках товаров и услуг по всем регионам [8].

Если рассматривать ОМММ с математической точки зрения, то каждая модель - это задача линейного или сепарабельного программирования большой размерности, которая может содержать более 7000 переменных, представляющая собой систему линейных ограничений (более 1000 ограничений), дополненных условиями неотрицательности некоторых или всех переменных, а также линейной целевой функции, значение которой необходимо максимизировать.

Для решения задач линейного программирования большой размерности используются специальные математические пакеты программ оптимизации. В текущей версии Модельно-Программного Комплекса ОМММ (МПК ОМММ) используется пакет GLPK (GNU Linear Programming Kit) – специальное программное обеспечение с открытым кодом, предназначенное для решения крупномасштабных задач линейного программирования, смешанного целочисленного программирования, а также различных связанных с этими задачами проблем. Входными данными для пакета оптимизации являются текстовые файлы в форматах CPLEX LP, MPS или GLPK, содержащие запись задачи линейного программирования в виде системы неравенств, ограничений, целевой функции и типа оптимизации (максимизация или минимизация). До настоящего времени в текущей версии МПК используется формат MPS.

Далее будет рассмотрен язык КОМБИ-2000 (Комплекс Обработки Матричных Блоков Информации), разработанный авторами для записи моделей линейного программирования в достаточно удобной и упрощенной форме специально для Модельно-Программного Комплекса ОМММ.

### **Общая схема функционирования МПК ОМММ**

Последовательность работы с Модельно-Программным Комплексом включает следующие пункты (рис. 1):

- 1) ручное описание структуры ОМММ (модели)
- 2) ручная подготовка входных данных в виде числовых таблиц
- 3) программное формирование входного файла (MPS) для оптимизатора
- 4) программное решение задачи линейного программирования (оптимизация)
- 5) программное чтение выходного файла оптимизатора
- 6) программный вывод результатов в виде числовых таблиц
- 7) ручной анализ решения

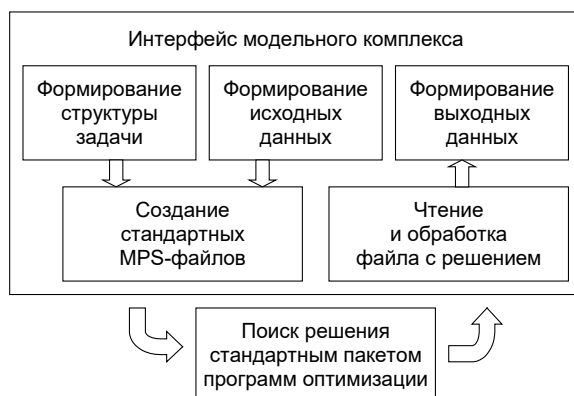


Рис. 1. Общая схема функционирования МПК ОМММ

## Формирование структуры модели

Структура оптимизационной модели на языке КОМБИ-2000 (рис. 2) требует определения:

- 1) имен переменных и ограничений
- 2) целевой функции и типа оптимизации (максимум/минимум)
- 3) коэффициентов матрицы задачи линейного программирования
- 4) границ изменений переменных
- 5) знаков (равно/меньше/больше) и правых частей ограничений.

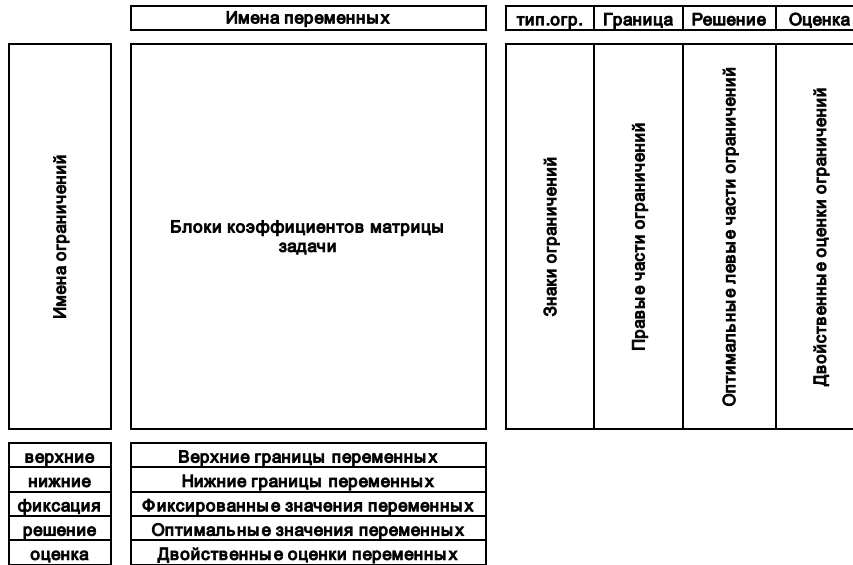


Рис. 2. Общая схема записи задачи линейного программирования

Подобный способ представления оптимизационных моделей позволяет описать задачу линейного программирования произвольного размера в наглядном и достаточно компактном виде (рис. 3).

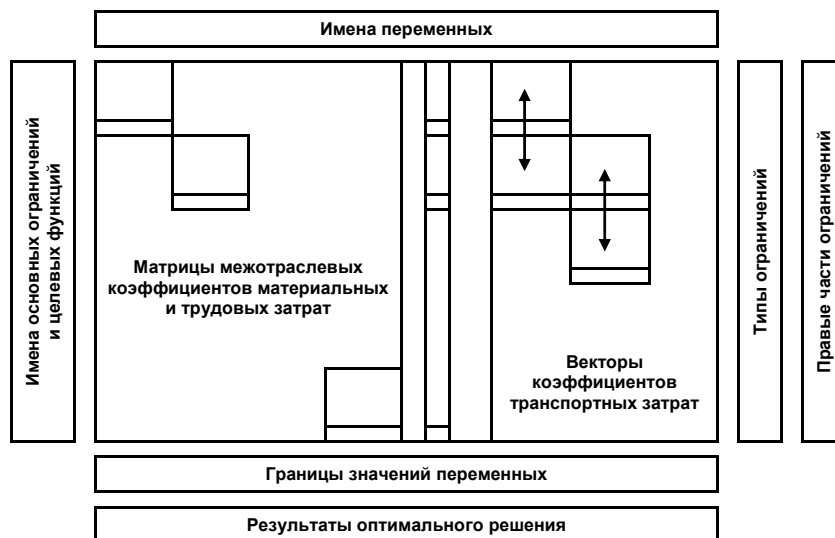


Рис. 3. Внутренняя структура блока коэффициентов

## Описание элементов модели на языке КОМБИ-2000

В ячейки рабочего листа Excel можно записывать матричные выражения на языке КОМБИ-2000 со ссылками на массивы входных и выходных данных, содержащих прямоугольные блоки имён, знаков или числовых значений. Одиночные элементы можно записывать в явном виде, без ссылок.

Числовые таблицы для хранения входных/выходных данных снабжаются титульной строкой и заголовками строк и столбцов для лучшего восприятия и сокращения числа ошибок при заполнении данных и анализе результатов.

Во вторую сверху строку электронной таблицы заносятся описания имён переменных в виде комбинированного текстового выражения, например “&#[Данные2030.xls]Имена!\$C\$1&#[Данные2030.xls]Имена!\$C\$51&10”, в котором символы амперсанда (“&”) отделяют друг от друга фрагменты выражения, а символы решётки (“#”) означают начало ссылки на прямоугольную область в формате #[Книга]Лист!Ячейки. Фрагмент, начинающийся не с решётки, задаёт кусок имени в явном виде (“10”). Имена ограничений в крайнем левом столбце задаются по тем же правилам. Выражения на языке КОМБИ-2000 могут ссылаться не только на символьные имена, но и на другие выражения этого же языка. В нашем примере фрагмент “#[Данные2030.xls]Имена!\$C\$1” ссылается на ячейку C1, которая сама содержит выражение “#c3:c42”, ссылающееся на вектор из 40 коротких имён отраслей: A1, A2, ... NO, O0, где A1 – сельское хозяйство, A2 – Охота и лесное хозяйство и т.д.

Имена последних пяти строк столбца A текущей электронной таблицы: «верхние», «нижние», «фиксация», «решение» и «оценка» всегда должны замыкать список имен уравнений, и этот порядок изменять нельзя. Имена последних четырех столбцов строки 2: «тип ogr.», «граница», «решение» и «оценка» также всегда должны замыкать список имен переменных.

Под целевую функцию на языке КОМБИ-2000 всегда отводится третья строка электронной таблицы. В ячейке A3 находится имя целевой функции, а на пересечении третьей строки с именами переменных расположены коэффициенты, с которыми данные переменные входят в целевую функцию модели. Чтобы максимизировать значение целевой функции, необходимо ввести в ячейку, находящуюся на пересечении 3-й строки электронной таблицы и столбца «тип ogr.» слово «max», а чтобы минимизировать значение целевой функции - слово «min».

На пересечении имён переменных и ограничений в электронной таблице указаны коэффициенты (веса), с которыми переменные включаются в ограничения. Таким образом в задачах линейного программирования выделяется область допустимых значений переменных. Иными словами, множество всех точек (сочетаний значений переменных), для каждой из которых выполняются все без исключения ограничения в виде взвешенных сумм переменных, является областью допустимых решений задачи. А уже среди этого множества точек оптимизатор находит одну, в которой достигается минимальное или максимальное значение целевой функции.

Началом координат элементов матрицы ограничений является ячейка *B3* таблицы. Количество ограничений в задаче может быть любым.

Любая переменная в оптимизационной модели может иметь:

- нижнюю границу (LO)
- верхнюю границу (UP)
- фиксированное значение (FX).

Возможны варианты, когда переменная неограниченна (FR), неположительна (MI) или неотрицательна (PL).

Если какие-то переменные в модели должны иметь фиксированные значения, то необходимо на пересечении строк «Фиксация» со столбцами соответствующих имен переменных поставить эти значения.

Ячейки электронной таблицы на пересечении строк «Верхние» и «Нижние» со столбцами имен переменных могут иметь одно из следующих значений: число (или ссылку на массивы, их имена или тексты заданий), «ноль», пусто или слово «Free».

На пересечении имён ограничений со столбцом «тип огр.» задаются знаки соответствующих ограничений модели. Тип ограничения в задаче может быть одним из следующих:

Обозначение	Способ обработки ограничения
=	приравнивается правой части
>=	больше или равно правой части
<=	меньше или равно правой части
пусто	не учитывается (исключается из задачи)

Значения правых частей основных ограничений модели задаются в столбце «граница». Значениями данного столбца могут быть как числа, так и ссылки на адрес ячеек, где указаны значения правых частей ограничений.

### ***Заключение***

Язык КОМБИ-2000 позволяет создавать программные комплексы для конструирования моделей различного типа, использующихся в анализе межрегиональных экономических отношений, в частности:

- 1) региональные и точечные народнохозяйственные межотраслевые модели;
- 2) межрегиональные межотраслевые модели;
- 3) межрегиональные модели экономического равновесия.

Направлением дальнейшего развития языка (КОМБИ-2020) является ещё большая компактность описания, отделение описания задачи от регионально-отраслевой структуры модели и подготовка к переносу моделей с локальной платформы (персонального компьютера) на сетевую (в интернет).

## **Благодарности**

*Статья подготовлена по плану НИР ИЭОПП СО РАН, проект 5.6.6.4. (0260-2021-0007) «Инструменты, технологии и результаты анализа, моделирования и прогнозирования пространственного развития социально-экономической системы России и её отдельных территорий», № 121040100262-7.*

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Гранберг А.Г., Суслов В.И., Суспицын С.А. Многорегиональные системы: экономико-математическое исследование / СО РАН, ИЭОПП, Гос. НИУ "Совет по изучению производит. сил". – Новосибирск: Сиб. науч. изд-во, 2007. – 370 с. – URL: Электронный ресурс (pdf); Электронный ресурс (Web).
2. Гранберг А.Г., Суслов В.И., Ершов Ю.С., Ибрагимов Н.М., Мельникова Л.В. Стратегии территориального и регионального развития экономики России // Проблемы и перспективы технологического обновления российской экономики / отв. ред. В.В. Ивантер, Н.И. Комков. – Москва : МАКС Пресс, 2007. – Гл. V.1. – С. 463-484.
3. Суслов В.И., Ибрагимов Н.М., Мельникова Л.В. Коалиционный анализ и эффекты межрегиональной интеграции = Coalition Analysis and Effects of Regional Integration. – DOI: 10.17059/2018-4-6 // Экономика региона. – 2018. – Т. 14, вып. 4. – С. 1131-1144. Scopus, WoS. – URL: Электронный ресурс (pdf).
4. Suslov V.I., Domozhirev D.A., Ibragimov N.M. Equilibrium State and Coalition Stability of Interregional Economic Systems: Impact of Openness. – DOI: 10.1109/MLSD.2019.8911081 // Management of large-scale system development (MLSD): 2019 Twelfth International Conference, 1-3 Oct. 2019, Moscow, Russia / Institute of Electrical and Electronics Engineers. – Moscow: IEEE, 2019. – Electronic ISBN: 978-1-7281-1730-0. – URL: Электронный ресурс (Web) (Дата обращения: 12.12.2019).
5. Суслов В.И., Ибрагимов Н.М. Модельно-программный комплекс прогнозирования и анализа территориальной структуры экономики // Экономическое развитие России: Региональный и отраслевой аспекты: сб. науч. тр. / под ред. Е.А. Коломак, Л.В. Машкиной. – Новосибирск : ИЭОПП СО РАН, 2005. – Вып. 6. – С. 119-133.
6. Ибрагимов Н.М. Модификация модельно-программного комплекса оптимизационных межотраслевых моделей // Экономическое развитие России: региональный и отраслевой аспекты: сб. науч. тр. / под ред. Е.А. Коломак, Л.В. Машкиной; ИЭОПП СО РАН. – Новосибирск, 2008. – Вып. 9. – С. 6-25.
7. Гранберг А.Г., Михеева Н.Н., Суслов В.И., Ершов Ю.С. Экономико-математические исследования пространственного развития России на основе межотраслевых моделей // Междунар. науч.-практ. конф. "Межотраслевой баланс - история и перспективы". 15 апр. 2010 г.: доклады, статьи, материалы / Ин-т макроэкон. исслед., Росстат. – Москва: ГУ ИМЭИ, 2011. – С. 46-55.
8. Ершов Ю.С., Ибрагимов Н.М., Мельникова Л.В. Федеральные округа России: особенности развития экономики и социальной сферы // Регион: экономика и социология. – 2006. – № 4. – С. 41–55. – URL: Электронный ресурс (Web).

© Н. М. Ибрагимов, В. С. Костин, 2021