

ПРИБЛИЖЕННЫЙ СПОСОБ СОГЛАСОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Албегов М.М., Леонтьева Л.Л., Трофимов А.Е.

(Москва)

На примере задач регионального развития показывается возможность практического использования функций отклика для координации экономических решений.

Получение лучшего в каком-то смысле решения обязательно включает элементы координации. В экономических задачах это означает учет лимитированности природных ресурсов, созданных фондов и доступных капитальных вложений, трудовых ресурсов, способности к выживанию природы и т.д.

Для учета таких факторов часто нужны достаточно громоздкие модели, описывающие специфику соответствующих отраслей народного хозяйства, промышленности, конкретных регионов. Согласование же решений, основанных на подобных моделях, представляет собой суперзадачу, которая сталкивается с проблемами размерности, разрывности и т.д. Поэтому необходим достаточно простой и универсальный способ приближенного согласования встречающихся на практике экономических (и аналогичных) задач.

НАИБОЛЕЕ РАСПРОСТРАНЕННЫЕ МЕТОДЫ СОГЛАСОВАНИЯ РЕШЕНИЙ

Как уже говорилось, любое оптимальное решение означает согласование степени достижения цели с располагаемыми ресурсами. В этом смысле использование методов математического программирования можно рассматривать как инструмент согласования решений, в котором значимость всех ресурсов одинакова: нехватка любого из них ограничивает рост функции цели независимо от ценности ресурсов, суммы затрат по его дополнительному привлечению и т.д.

Большое распространение получили и методы согласования многоуровневых (в основном, двухуровневых) задач — декомпозиционный и синтетический, или композиционный. Основой первого служит разбиение общей модели системы на относительно независимые блоки в соответствии с принятой иерархией. Построение декомпозиционных схем начинается обычно с решения задачи верхнего уровня. Вырабатывается единый, поступающий "сверху" сигнал, используя который можно получить несвязанные задачи, например, с модифицированными локальными целевыми функциями. Существует ряд модификаций этой схемы, базирующихся либо на конечных процедурах линейного программирования, либо на применении методов возможных направлений. Среди приближенных методов можно выделить процедуры, использующие функции отклика.

Например, в [1] ставилась задача согласования отраслевых планов размещения производства, для решения которой строилась так называемая функция отказа, показывающая изменение (приращение) отраслевых издержек при отказе от лучшего, с точки зрения отрасли, варианта размещения предприятия в данном пункте.

В дальнейшем алгоритм, построенный с помощью функций отклика как

обобщенного описания реакции объекта на изменение внешних условий, был предложен в [2], где также рассматривалась задача размещения предприятий разных отраслей в составе промузла. Для увязки отраслевых решений предлагалось исследовать зависимости минимумов отраслевых издержек от мощностей предприятий в данном промузле. Приближенное построение таких зависимостей проводилось с использованием двойственных оценок отраслевых планов. Тогда задача сводилась к нахождению минимума суммы этих функций для всех отраслей и промузлов с учетом общесистемных ограничений. Задача решалась методом динамического программирования. Однако возможности этого метода сужаются с увеличением числа ресурсных ограничений. Дальнейшая разработка данного подхода рассмотрена в [3].

В последнее время функция отклика применяется многими исследователями проблем согласования экономических решений. Так, в [4] функции отклика вводятся как элемент имитационных систем, необходимый для формирования задачи согласования. При этом требуются сведения о функциях материальных издержек, капитальных и трудовых затрат и т.д. Все они имеют своим аргументом производственные задания по выпуску продукции и, с точки зрения имитационного подхода, являются функциями отклика подсистем нижнего уровня на координирующий сигнал, поступающий от управляющей системы верхнего уровня.

В [5] построение функций отклика основано на методике планирования эксперимента. Аппроксимация этих функций представляет собой уравнения многофакторной регрессии.

Рассмотренные примеры вычисления и применения функций отклика объединяются общей схемой. Согласование решений в системе моделей с помощью функций отклика разбивается на два этапа. Сначала одновременно во всех подсистемах проводятся варианты расчеты и строятся функции отклика. Затем в координирующей блоке модели отдельных блоков заменяются на их функции отклика и рассчитывается оптимальное решение системы.

ФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ МЕТОДА

Ниже под функцией отклика понимается некоторое обобщенное описание реакции объекта на изменение внешних условий. Если отдельный блок системы описывается оптимизационной моделью, то функцией отклика может служить последовательность значения функционала при варьировании тех или иных параметров модели.

Рассмотрим систему, состоящую из нескольких независимых блоков (скажем, моделей, описывающих отдельные отрасли экономики региона). Пусть каждая из отраслевых задач ($k = 1, \dots, K$) описана оптимизационной моделью: найти

$$\max f_k(X_k), X_k \in B_k, G_i(X_k) \leq R_i^k, X_k \geq 0, \quad (1)$$

где X_k — вектор состояния подсистемы k , например, вектор выпуска продукции отрасли k ; B_k — множество допустимых состояний блока k , определяемое его внутренними технологическими и ресурсными возможностями; $G_i(X_k) \leq R_i^k$ — зависимость состояния отрасли от внешних условий, например, от наличия общесистемных ресурсов $R_i, i = 1, \dots, m, \sum_k R_i^k \leq R_i$.

В линейных и линейно-целочисленных задачах, которыми может быть описано большинство практических проблем оптимизации в экономике, функции $f_k(X_k)$ и $G_i(X_k)$ удовлетворяют условиям выпуклости или по крайней мере монотонности.

Общесистемные ресурсы (капитал, труд, вода) могут служить теми пара-

метрами, которые являются аргументом функции отклика блока k на изменение общих условий функционирования системы.

Для построения функции отклика необходимо: исследовать область изменения каждого из параметров и их совокупности (область допустимости $\{R_i^k\}$); определить значения функционала задачи во всех или хотя бы в некоторых точках указанной области.

Каждый из параметров R_i^k может меняться от наименьшей величины, ниже которой задача становится несовместной, до наибольшей, когда ее превышение уже не улучшает функционал. Поэтому область изменения параметров представляет собой параллелепипед в m -мерном пространстве параметров $\underline{R}_i^k \leq R_i^k \leq \bar{R}_i^k$, где \underline{R}_i^k , \bar{R}_i^k — минимальное и максимальное значения R_i^k .

Для приближенного описания функции отклика строится сетка изменения параметров, т.е. для каждого R_i^k задается шаг его изменения ΔR_i^k , величина которого выбирается эмпирически в зависимости от особенностей задачи. Проводя серию решений оптимизационной задачи (1) в точках построенной сетки, получим некоторую аппроксимацию функции отклика. Такая аппроксимация правомерна, если у функции отклика нет локальных оптимумов.

Для многоэкстремальных задач этот подход также может быть использован, но необходима следующая "страховочная" процедура: а) на основе имеющейся исходной информации надо проанализировать сравнительную эффективность вариантов, входящих в решения, и определить разницу между наиболее и наименее эффективными из них; б) наряду с найденным оптимальным решением для данной точки сетки нужно исследовать и другие структурно отличные решения, значение функционала которых отличается не более, чем на величину вышеуказанной разницы, и найти лучшее из них. Но эта процедура требует увеличения времени расчетов и может быть оправдана лишь при желании получить весьма точное решение. Тем не менее, с ее помощью можно построить приближенные функции отклика для всех блоков системы.

Напомним, что цель построения функций отклика состояла в том, чтобы на их основе сформулировать модель, описывающую процесс координации планов в системе. Модель координационной задачи зависит от цели согласования. Если речь идет об оптимальном распределении общесистемных ресурсов между отраслями регионального хозяйства, то задача сводится к нахождению оптимума глобальной целевой функции

$$\Phi = \max_{R_i} \sum_{k=1}^k f^k(R_i^k).$$

Воспользуемся следующим приближенным методом нахождения оптимума. Рассматривая каждое значение функции отклика и сам вектор параметров как вариант развития отрасли k , можно сформулировать задачу целочисленного программирования, позволяющую выбрать наилучшее сочетание вариантов для всех блоков системы, с точки зрения общего функционала.

Сформулируем более точно координационную задачу. Найти

$$\max_{x_{ki}} \sum_{i, k} f_i^k x_{ki}$$

при

$$\begin{aligned} \sum_{ik} a_{ijk} x_{ki} &\leq R_j, \quad j \in J, \\ \sum_{i \in I_k} x_{ki} &= 1, \quad x_{ki} = \begin{cases} 0, \\ 1, \end{cases} \quad k \in K, \end{aligned}$$

где f_i^k — значение функции отклика отрасли k для варианта i распределения

ресурсов, $i \in I_k$; $a_{ij k}$ — величина ресурса i в варианте i для отрасли k , $j \in J$, $i \in I_k$, $k \in K$; x_{ki} — целочисленная переменная, характеризующая выбор варианта i для отрасли k ; R_j — общесистемное ограничение на потребление ресурса j .

В силу приближенности задания функций отклика, решение этой задачи будет также приближенным, причем точность его зависит от выбранной области допустимости параметров и "мелкости" сетки точек, аппроксимирующих эту область. Ясно, что выбор более мелкой сетки, увеличивая точность решения, приводит к росту размерности координирующей задачи. Выход может быть найден в построении итеративного процесса следующего вида.

Как первое приближение к оптимуму примем решение координационной задачи с относительно "крупной" сеткой изменения параметров. На следующей итерации процесса в качестве области допустимости параметров для каждого блока берется окрестность решения, полученного на предыдущем шаге. В этой новой, более узкой, области повторяются расчеты по той же схеме, но с более мелкой сеткой, т.е. с уменьшенным шагом изменения параметров. Снова строятся функции отклика каждого блока системы в окрестности точки, которая выбиралась как наилучший вариант развития отрасли в координационной задаче. Таким образом, в окрестности первого приближения — более точное описание функций отклика. Ставится новая координационная задача, размерность которой не будет чрезмерно увеличиваться, так как область изменения параметров ограничена окрестностью первого приближения.

Решение новой задачи дает более точное приближение к оптимуму системы. Затем процесс повторяется. Признаком прекращения итераций может служить повторение или близость решений на соседних шагах процесса.

ОСОБЕННОСТИ РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ

Разработка достаточно универсального приближенного метода согласования экономических решений вызывалась необходимостью практического решения задач координации решений в системе моделей регионального развития.

Эта система изначально строилась с использованием следующих принципов.

1. Описание с помощью математических моделей всех основных сторон социально-экономической активности в регионе.

2. Реализация модульного принципа построения системы с возможностью изменения ее структуры в зависимости от специфики проблем конкретного региона.

3. Применение для описания отдельных секторов региональной экономики обобщенных (унифицированных) моделей, позволяющих решать подавляющее большинство возникающих в этих секторах проблем. Возможность "настройки" таких моделей на особые, редко встречающиеся ситуации, путем их соответствующего дополнения и расширения.

4. Ориентация на максимальную автоматизацию подготовки исходной информации, проведения расчетов и анализа полученных решений.

Исходным этапом разработки системы является создание отдельных ее блоков — моделей различных секторов региональной экономики. Остановимся подробнее на этом этапе.

К настоящему времени разработано множество отраслевых моделей: производственных и производственно-транспортных, статических и динамических, одно- и многопродуктовых. Каждая из таких моделей "нацелена" на решение специфических проблем конкретной производственной системы и отражает ее наилучшим образом. Как правило, построенные для определенных отраслей модели используются либо однократно, либо для решения одних и тех же задач через определенные промежутки времени. Применение таких моделей

для каких-либо измененных задач требует значительных затрат времени на их модификацию.

Большое распространение получило также создание "гибридных" моделей, разрабатываемых для решения проблем, возникающих на стыке интересов разных секторов экономики. Такая модель "вырезает" из каждого сектора лишь некоторую часть, непосредственно связанную с рассматриваемой проблемой.

В качестве примеров можно привести ряд задач на стыке сельского и водного хозяйства [6], промышленности и строительства [7], промышленности и охраны окружающей среды [8]. Возможность их повторного применения, по-видимому, также мала из-за их существенной привязанности к конкретным условиям.

Вышесказанное предопределило появление иного подхода к моделированию отдельных секторов регионального хозяйства. Суть его заключается в том, чтобы, не пытаясь конкурировать со специальными задачами развития отдельных производств, а ограничиваясь рамками только рассматриваемого производства (без элементов "гибридного" подхода), создать наиболее общую задачу развития и размещения отрасли.

Одна из первых попыток построения модели такого рода для сельскохозяйственного сектора была предпринята в конце 1970-х годов в Международном институте прикладного системного анализа [9]. Эта модель позволяла: выбирать специализацию сельского хозяйства региона, одновременно анализировать проблемы животноводства и растениеводства, описывать возможную трансформацию земель, выявлять необходимость мелиорации, учитывать севообороты, кормовые рационы в животноводстве и т.д. Таким образом, она была достаточно общей, чтобы в рамках системы региональных моделей учитывать проблемы развития сельского хозяйства.

Идейным ее аналогом применительно к промышленности является унифицированная модель развития и размещения промышленного производства, разработанная в ЦЭМИ [10]. Она позволяет: рассматривать одно- и многопродуктовые системы, применять целочисленное и непрерывное описание производства, учитывать в модели транспорт и потребление готовой продукции (с элементами взаимозаменяемости), описывать варианты развития производства (реконструкцию и новое строительство), т.е. любую проблему развития промышленного сектора региональной экономики.

Уже в процессе работы над системой региональных моделей появилась необходимость в обобщенной модели регионального водоснабжения. И хотя специфика водных систем делает эту задачу достаточно сложной, все же при некоторых допущениях удалось создать модель, учитывающую все возможные источники водоснабжения: несколько водотоков, внутрирайонное перераспределение воды, строительство искусственных водохранилищ и каналов, сезонные колебания потребности в воде, контроль за качеством поставляемой воды и т.д.

Ясно, что в описываемой системе метод согласования решений должен быть достаточно универсальным и быстрым для того, чтобы работать в "связке" с большемерными задачами отдельных секторов региональной экономики.

Первая проверка метода согласования была проведена на экспериментальной системе моделей, разработанной для "условного" региона [11]. Информация, используемая в моделях, также условна, однако основана на реальных соотношениях, нормативах и прочих показателях, характерных для региональной экономики.

Упрощенный вариант системы, применяемый для эксперимента, состоит из следующих блоков: сельское хозяйство, промышленность и водное хозяйство.

Все задачи базируются на пространственном, а не точечном описании объекта. Регион делится на 4 подрайона с относительно однородными условиями. Ос-

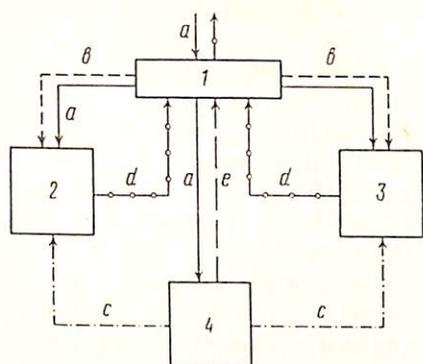


Рис. 1

Рис. 1. Схема связей в экспериментальной системе моделей: 1 – координационный центр, 2 – сельское хозяйство (линейная модель, 200×100), 3 – промышленность (линейно-целочисленная модель, 75×25), 4 – водное хозяйство (линейно-целочисленная модель, 100×50); a – капитальные вложения, b – трудовые ресурсы, c – водные ресурсы, d – прибыль, e – затраты

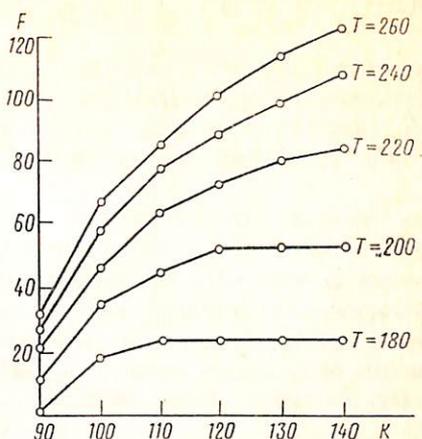


Рис. 2

Рис. 2. График функции отклика блока "Сельское хозяйство": F – целевая функция, млн. руб., K – капитальные вложения, млн. руб.; T – тыс. человек.

новными варьируемыми параметрами в системе являются величины общих для региона ресурсов: капитала, воды и труда. Схема связей в системе показана на рис. 1.

Не все связи в системе одинаково значимы. Расчеты показали, что водопотребление в промышленности в рассматриваемом случае постоянно и им можно пренебречь; можно не учитывать и трудозатраты на водоснабжение, так как они невелики и не оказывают влияния на остальные отрасли.

Для проверки точности приближенного метода естественно сравнивать результаты с точным оптимумом системы. Для данного экспериментального примера он может быть получен как решение задачи, объединяющей все три блока с общими ограничениями и явным выражением горизонтальных связей. Матрица "общей задачи" состоит из отраслевых задач с внесенными в них следующими изменениями:

- 1) локальные ограничения по труду и капиталу заменяются общими;
- 2) вводятся переменные связи между сельскохозяйственной и водной задачами; это – объемы водопотребления на сельскохозяйственные нужды в отдельных подрайонах в сезоны "пиковой" нагрузки (летний и весенний полив);
- 3) применяется общий критерий оптимальности – максимум дохода от производственной деятельности региона.

Ниже описывается итерационный процесс согласования решений.

Итерация. Работа алгоритма начинается с построения функций отклика каждого блока. Проводя серию расчетов по модели при изменении величин основных варьируемых параметров, получаем последовательность оптимальных решений задач.

Модель сельского хозяйства

Модель линейного программирования размером 200×100 описывает основные структурные характеристики отрасли: развитие растениеводства и животноводства; использование земель разного качества, формирование кормовой базы, условий севооборота. Рассматриваются различные специализации в животноводстве; по каждой из них предусмотрены две технологии: обычная и интенсивная, отличающаяся

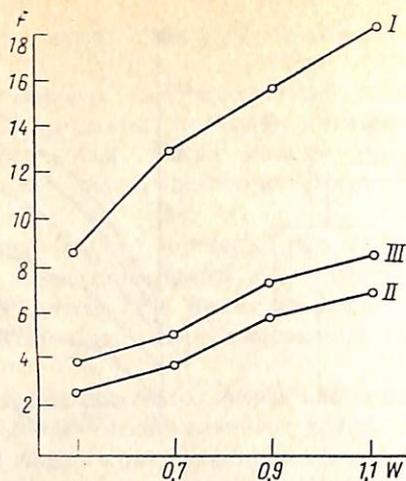


Рис. 3. График функции отклика блока "Водное хозяйство": F — функционал, млн. руб.; W — водопотребление, млрд. м³; I–III — стратегии

затратами труда, воды, капитальных вложений, а также и результатами их применения. В растениеводстве также две технологии — поливная и бесполивная. Затраты на выращивание продукции без полива выше, так как отсутствие воды компенсируется другими агротехническими мероприятиями.

Расходы на развитие мелиорации учитываются в отрасли водоснабжения.

Для получения функции отклика проведены серии расчетов при изменении параметров трудовых ресурсов (T), объема капитальных вложений (K) и объема годового водопотребления (W). Отправная точка расчетов: $T = 180$ тыс. чел., $K = 90$ млн. руб., $W = 0,5$ млрд. м³/г. Это — минимальные величины ресурсов, ниже которых нет допустимого решения задачи.

Шаг изменения параметров был выбран эмпирически и составил примерно 10% первоначального значения. Далее расчеты проводились до момента насыщения, когда дальнейшее увеличение параметра не дает существенного изменения функционала. Характеристики изменения параметров показаны в табл. 1.

Таблица 1

| Параметр | Интервал | Шаг |
|-------------------------------|-----------|-----|
| | Изменения | |
| T , тыс. чел. | 100–260 | 20 |
| K , млн. руб. | 90–140 | 10 |
| W , млрд. м ³ /г | 0,5–1,1 | 0,2 |

В указанных точках получены значения функционала задачи, которые и представляют собой функцию отклика блока "сельское хозяйство". Эта функция нелинейна. По каждому виду ресурсов происходит "насыщение", если два других ресурса фиксированы. Вид функции для $W = 0,5$ представлен на рис. 2.

Кроме функции отклика, расчеты дают возможность определить внутрирайонное распределение водных ресурсов для сельского хозяйства. Как показали расчеты, функция отклика водной задачи существенно зависит не только от общей нагрузки на регион, но и от того, как она распределена по водотоку.

ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Модель частично целочисленная, размерности 100×50 , учитывает все основные факторы и объекты водной системы региона: внутригодовую неравномерность стока, строительство каналов, водохранилищ, очистку воды от загрязнения. Регион поделен на четыре водохозяйственных участка, три из которых расположены по течению реки. Один участок — вне водотока.

В нашем "условном" регионе основная нагрузка на водную систему связана с сельским хозяйством, поэтому варьируется параметр W , который принимает значения 0,5; 0,7; 0,9; 1,1. Однако, как указывалось, на изменение функционала водной задачи оказывает влияние не только общая величина водопотребления, но и распределение нагрузки по водохозяйственным участкам. Например, потребление воды на четвертом участке связано с дополнительными затратами на строительство водовода; потребление в первом участке также менее выгодно, так как в верховье реки сток меньше, чем ниже по течению, и т.д.

Исследования показали, что приближенно варианты распределения нагрузки могут быть описаны как следующие стратегии: I — равномерное распределение нагрузки по участкам; II — равномерное распределение на первом — третьем участках, а на четвертом — лишь небольшое водопотребление; III — "блокируются" первый и четвертый участки, нагрузка распределяется на втором и третьем.

Решение задачи с разными стратегиями и различным уровнем годового водопотребления дает картину изменения функционала — функцию отклика блока "водное хозяйство" (рис. 3).

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Блок промышленности включает описание трех видов условной продукции с различными типами производства. Один из них представлен непрерывной переменной и позволяет осуществлять прирост мощностей любой величины в пределах потребности, два других — целочисленные, причем по второму виду имеется дискретный набор мощностей, а по третьему — предусмотрен лишь один типовой объем. Рассмотрен выбор технологий (более или менее трудоемких и капиталоемких), а также выбор размещения предприятий по четырем районам.

Варьировались параметры T и K ; по параметру W расчеты не проводились, так как анализ показал, что в этой постановке задачи варьирование водопотребления не оказывает влияния на решение задачи. Диапазон изменения трудовых затрат — от 95 до 135 тыс. человек. Капитальные вложения изменялись от 700 до 750 млн. руб. Функция отклика носит существенно нелинейный характер; изменение функционала (приведенных затрат) происходит скачкообразно (табл. 2).

На основе полученных функций отклика строится задача целочисленного программирования для согласования решений отдельных блоков. Ее матрица схематично представлена в табл. 3.

Переменные x_{ki} , принимающие значения нуль и единица, дают возможность выбрать вектор значений параметров T , K и W , и соответствующее значение функции отклика $f(K, T, W)$ при заданных общих ресурсах K , T и W .

Число уравнений координационной задачи — это число варьируемых ресурсов плюс число блоков в системе; количество переменных определяется суммой рассматриваемых вариантов для всех блоков.

В нашей задаче для блока сельского хозяйства было 104 варианта, для промышленности — 10, для водного хозяйства — 12.

Решение координационной задачи дает оптимальный вариант распределения ресурсов между блоками системы при данной точности описания функций отклика.

Сравнение полученного решения с точным оптимумом системы (решением общей задачи, которая была описана выше) показывает, что первая итерация дает

Таблица 2

| К, млн. руб. | Т, тыс. чел. | | | | |
|--------------|--------------|-----|-----|-----|-----|
| | 95 | 105 | 115 | 125 | 135 |
| 700 | * | * | * | 86 | 86 |
| 710 | * | * | 87 | 83 | 83 |
| 720 | * | 88 | 83 | 83 | 83 |
| 730 | * | 84 | 83 | 83 | 83 |
| 740 | 85 | 84 | 83 | 83 | 83 |
| 750 | 85 | 84 | 83 | 83 | 83 |

* — несовместное решение.

Таблица 3

| Функционал $f(K, T, W)$ (функции отклика блоков) | | | К Т W | Правые части ограничений | |
|--|----------------|-----------|-------------|--------------------------|-----|
| x_{1i} | x_{2i} | x_{3i} | | | |
| Варианты решений задачи | | | | | |
| сельскохозяйственной | промышленности | водной | | | |
| 1 1 ... 1 | 1 1 ... 1 | 1 1 ... 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 1 |

Таблица 4

| Показатели | Координационная задача | | | Общая задача (точное решение) | |
|----------------------|------------------------|--------|--------|----------------------------------|--------|
| | I | II | III | | |
| Значение функционала | F | -64,05 | -56,87 | -56,87 | -56,60 |
| | T | 280 | 280 | 280 | 280 |
| Ресурсы | K | 880 | 880 | 880 | 880 |
| | в том числе по блокам: | | | | |
| Сельское хозяйство | | | | | |
| Функционал | F | 23,5 | 30,68 | 30,68 | 30,68 |
| Ресурсы | T | 180 | 185 | 185 | 185,01 |
| | K | 110 | 110 | 110 | 110,01 |
| Промышленность | | | | | |
| Функционал | F | -85 | -85 | -85 | -85 |
| Ресурсы | T | 95 | 95 | 95 | 94,99 |
| | K | 740 | 745 | 747 | 739,90 |
| Водное хозяйство | | | | | |
| Функционал | F | -2,55 | -2,55 | -2,55 | -2,17 |
| Ресурсы | T | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | K | 9,3 | 9,3 | 9,3 | 7,3 |

лишь грубое приближение к оптимуму: разница функционалов составляет примерно 10% (см. табл. 4).

II итерация. Для продолжения итерационного процесса необходимо уменьшить область изменения параметров и шага по каждому из них. Правила построения новой "сетки" изменения параметров сводятся к следующему.

1. Исследование функции отклика проводится в окрестности точки, выбранной в качестве оптимума на предыдущей итерации. Например, для блока "сельское хозяйство" в качестве отправной точки берется оптимальное решение на итерации I: $T_I = 180$, $K_I = 110$, $W_I = 0,5$.

2. Для области изменения выбирается интервал между соседними точками "сетки" изменения параметров на предыдущей итерации. В нашем примере из сетки изменения параметров выбрана область: $T = 100-200$, $K = 100-110-120$; $W = 0,5-0,7$.

3. Выбор нового шага изменения параметров — эмпирический. Полученный интервал делится на отрезки более мелкие, чем на итерации I.

В нашем примере: $T: 180-185-190-195-200$; $K: 100-105-110-115-120$; $W: 0,5-0,55-0,6-0,65-0,7$.

Построение функций откликов происходит так же, как на итерации I. В сельскохозяйственной задаче одновременно определяются и объемы потребления воды, которые служат основой для построения стратегий водопотребления в водной задаче. Поскольку на первой итерации была выбрана вторая стратегия водопотребления, то именно она будет использоваться в дальнейшем.

Исходя из полученных функций отклика строится новая координационная задача. Решение ее существенно отличается от оптимума, рассчитанного на итерации I (см. табл. 4). Это главный признак, указывающий на необходимость продолжения итеративного процесса.

III итерация. Анализ оптимального решения показывает, что основные изменения произошли в блоке сельского хозяйства: выбран вариант $K = 110$, $T = 185$, $W = 0,5$, т.е. изменилось значение параметра T . Следовательно, на итерации III необходимо построить новую "сетку" по параметру T . Интервал изменения — окрестность точки $T: 183-184-185-186-187$.

В остальных блоках функции отклика вычислялись аналогично предыдущей итерации. После этого была построена новая координационная задача и найдено оптимальное решение.

Значение функционала на III итерации не изменилось. Таким образом, итеративный процесс нахождения приближенного решения можно закончить.

В табл. 4 приводятся данные, позволяющие сравнить решения, получаемые на последовательных итерациях. Сопоставление функционалов приближенного и точного решений показывает, что погрешность составляет менее 0,4%.

Экспериментальные расчеты свидетельствуют о том, что использование изложенного метода обладает рядом преимуществ по сравнению с точными методами согласования. К ним можно отнести:

возможность работы с разнообразными, достаточно крупными задачами, описывающими реальные экономические объекты;

учет нескольких параметров, выступающих в качестве глобальных ресурсов в системе при нахождении согласованного решения;

относительную простоту алгоритма, использование уже отработанных стандартных процедур оптимизации отдельных блоков, стандартных пакетов оптимизации;

проведение многовариантных расчетов, разработки различных сценариев развития региональной экономики.

* * *

Из расчетов видно, что применение функций отклика является удобным способом взаимоувязки отдельных решений, когда блоки общей системы описываются линейными и линейно-целочисленными задачами большой размерности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Албегов М.М., Солодилов Ю.И. Метод увязки отраслевых и районных планов // Экономика и мат. методы. 1968. Т. IV. Вып. 3.
2. Албегов М.М., Солодилов Ю.И. Вопросы оптимизации размещения системы промышленных комплексов // Экономика и мат. методы. 1970. Т. VI. Вып. 6.
3. Албегов М.М. Проблемы оптимизации территориального планирования // Экономика и мат. методы. 1975. Т. XI. Вып. 1.
4. Багриновский К.А., Егорова Н.Е. Имитационные системы в планировании экономических объектов. М.: Наука, 1980.
5. Марьясов В.Г., Суслов В.И. Использование функций отклика регионов в исследовании территориальных пропорций // Исследование межотраслевых территориальных пропорций. Новосибирск: Наука, 1980.
6. Пряхинская В.Г., Хранович И.Л. Система оптимизационных моделей развития водного хозяйства региона // Водные ресурсы. 1979. № 3.
7. Основные методические положения оптимизации развития и размещения производства. М.: Наука, 1978.
8. Рюмина Е.В. Экологический фактор в экономико-математических моделях. М.: Наука, 1980.
9. Albegov M.M. Generalized Regional Agriculture Model (GRAM): Basic Version — 79—93. IIASA, Laxenburg, Austria, 1979.
10. Медницкий В.Г. Оптимизация перспективного планирования. М.: Наука, 1984.
11. Албегов М.М., Леонтьева Л.Л., Трофимов А.Е., Осипова М.И. Опыт реализации алгоритма согласования плановых решений в региональной системе моделей // Оптимизация регионального развития. М.: ЦЭМИ АН СССР, 1990.

Поступила в редакцию
7 V 1992