

УДК 338.45:63 : 330.115

ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ПЛАНОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

В.А.Кардан, М.И.Вирченко

1. Введение

Уже в первой работе Л.В.Канторовича по линейному программированию [1] в числе других были предложены и модели по сельскому хозяйству, а также очерчен круг вопросов, для решения которых они могут использоваться. Была сформулирована модель размещения сельскохозяйственных культур по участкам земли различного плодородия с целью получения максимального выпуска продукции, рассмотрено усложнение модели при введении дополнительного ограничения на воду при наличии орошаемых земель, указана также возможность использования разработанных методов "для решения вопроса о наилучшем распределении сельскохозяйственного инвентаря по видам работ". Здесь же упоминались более сложные варианты сельскохозяйственных моделей, включающие, например, условия выбора оптимальных севооборотов с учетом их влияния на урожайность сельскохозяйственных культур.

Методы оптимального программирования, являясь эффективным инструментом планирования и экономического анализа во всех отраслях народного хозяйства, особенно эффективны в приложениях к решению аграрных планово-экономических задач. Это следует из некоторых специфических условий сельскохозяйственного производства, на что неоднократно указывал Л.В.Канторович [3]. Поэтому уже с первых лет организации в Институте математики СО АН СССР математико-экономического отделения (МЭО) здесь

под руководством Л.В.Канторовича начали проводиться исследования по моделированию сельскохозяйственного производства, экспериментальная проверка моделей путем решения конкретных планово-экономических задач. С самого начала большое внимание уделялось вопросам экономико-математического анализа планов сельскохозяйственного производства, методические основы которого содержатся в работе [2].

Специфика условий развития нового направления в тот период требовала и особых организационных форм научной работы сотрудников МЭО. Трудности становления новых методов планово-экономических исследований были связаны с почти полным отсутствием научных кадров экономистов, владеющих методами оптимального программирования, с пессимистическим отношением, а иногда и резкими возражениями против новых методов со стороны большинства ученых-экономистов. Поэтому одной из необходимых и эффективных форм работы было установление и развитие тесных научных контактов с соответствующими отраслевыми институтами и учреждениями, пропаганда новых методов и вовлечение в работу по моделированию и решению оптимизационных задач специалистов-аграрников - научных сотрудников соответствующих институтов и учреждений.

Следует также отметить, что в отделе были созданы очень благоприятные условия с точки зрения возможностей машинной реализации экономико-математических моделей благодаря наличию разработанных здесь весьма эффективных программ, позволяющих решать задачи определенной структуры достаточно большого объема (программы М.М.Андреевой, В.А.Булавского, Р.А.Звяжиной, М.А.Яковлевой и др.).

Одной из первых задач по сельскому хозяйству (оптимизационные исследования её были начаты в 1960 г.) была задача определения рациональной структуры машинно-тракторного парка, а также рационального использования и пополнения имеющегося парка. Начальный этап работы проводился с участием к.э.н. С.З.Толпекина (г. Москва), а затем исследования продолжались совместно с Сибирским филиалом ВИМ (ныне СИСИМЭ СО ВАСХНИЛ). Разработкой методов оптимизационных расчетов потребности и использования сельхозтехники занимались сотрудники МЭО В.А.Булавский и Т.Т.Максимова (Орлова). Для решения этих задач были разработаны экономико-математические модели [15-16] и спе-

циальный итеративный метод расчетов на ЭВМ (В.А.Булавский). На основе предложенных моделей были разработаны методы оценки эффективности новой сельскохозяйственной техники, и проведены расчёты по определению эффективности трактора К-700 [16]. Позднее Т.Т.Максимовой и Ю.В.Бондаренко были проведены исследования проблем определения оптимальных размеров и структуры механизированных звеньев для хозяйств заданной производственной специализации [17].

С первых лет организации отдела проводились широкие исследования по проблемам оптимизации развития, размещения и специализации сельскохозяйственного производства на различных уровнях планирования и управления (страны, республики, области, хозяйства). На основе о.о. оценок, получаемых при реализации соответствующих моделей, изучались методологические принципы и методические подходы к построению системы экономических рычагов оптимального управления развитием сельскохозяйственного производства.

В 1961 г. М.И.Вирченко [6] была составлена модель размещения и структуры сельскохозяйственного производства. После экспериментальной проверки на основе этой модели в содружестве с различными НИИ по сельскому хозяйству (Сибирским филиалом ВНИИЭСХ, теперешним СибНИИЭСХ СО ВАСХНИЛ, АНИИСХозом и др.) был проведен ряд конкретных расчетов, имеющих целью как получение более обоснованных планов для соответствующих объектов, так и дальнейшую разработку методических вопросов оптимизации планирования на различных его уровнях. В 1967-68 гг. М.И.Вирченко совместно с А.К.Шеметовым (СибНИИСХоз, г. Омск) была выполнена работа по составлению оптимального плана размещения сельскохозяйственного производства по природно-экономическим зонам Омской области [7].

При разработке моделей размещения и структуры сельскохозяйственного производства исследовались различные способы учета отдельных групп ограничений и особенности отражения условий в задачах, относящихся к различным этапам планирования. Так, М.И.Вирченко и Н.М.Трубецкой [9] путем проведения экспериментальных расчетов был исследован вопрос о характере и мере влияния способов учета ограничений по кормовой базе на решение задачи оптимального сочетания отраслей. При этом использовались 2 типа моделей: комплексные, но с различной степенью детализации условий (полные и упрощенные) и поэтапные модели, в

которых на первом этапе определяются рационы кормления животных, а на втором — структура производства. Анализ этих моделей позволил дать экспериментальную оценку влияния вида модели на определяемую структуру производства (при различных постановках задачи) и расчетную экономическую эффективность. Это позволило предложить различные приемы моделирования, с помощью которых можно ослабить влияние способов учета ограничений по кормовой базе на решение соответствующих задач.

Под руководством и с участием Л.В.Канторовича одновременно с разработкой методики размещения сельского хозяйства проводились исследования по построению систем экономических показателей (цен, рентных платежей и др.), соответствующих рациональным планам. Л.В.Канторович неоднократно выступал с предложениями по совершенствованию ценообразования и рентных отношений в сельском хозяйстве. Они докладывались на различных совещаниях и были представлены в руководящие органы [4, 5].

Л.В.Канторовичем была предложена также модель для расчета цен и рентных оценок земли, соответствующих фактически сложившемуся размещению и структуре сельскохозяйственного производства. Расчеты по этой модели были начаты И.И.Дикиным, им же совместно с С.М.Анцызом был разработан алгоритм решения задачи [8]. М.И.Вирченко и Н.В.Шестаковой были продолжены исследования этой модели в направлении более полного учета в ней условий, влияющих на ценообразование, выяснения экономического смысла показателей, получаемых в результате расчетов, и построения с их использованием механизма взаимоотношений сельскохозяйственных предприятий с государством.

С 1963 года в отделе ведутся разработки оптимизационных экономико-математических моделей и методов анализа в орошении. На первом этапе (1963–1968 гг.) эти работы проводились совместно с сотрудниками Института гидродинамики СО АН под руководством академиков Л.В.Канторовича и П.Я.Кочинной. В 1964 году В.А.Кардам предложил метод учета в рамках модели линейного программирования случайной природы информации о производстве в модели с дискретными исходами условий производства. Метод оказался достаточно удобным для моделирования стохастических факторов орошаемого земледелия и приводил к численно реализуемым задачам. Поэтому был сразу же использован в совместных с В.Г.Пряжинской (ИГ СО АН) разработках практических планово-экономических задач орошения: при создании мето-

лики расчетов оптимальной производственной структуры действующих оросительных систем (О.С.) и методики одновременного выбора оптимального варианта строительства и использования оросительной системы для случая фиксированных элементов структуры оросительного комплекса (ёмкостей водохранилищ, числа скважин и т.п.) [12]. Позднее В.А.Кардашем более глубоко были разработаны экономический и агротехнический аспекты применения предложенного метода к проблемам орошения и на этой основе создан и апробирован ряд моделей проектирования новых и коренной реконструкции старых оросительных систем [10]. В.Г.Пряжинской были проведены исследования статистических аспектов применения метода и вопросов устойчивости решения задач соответствующей структуры, подтвердившие возможность широкого применения этого метода моделирования.

На основе методологических и методических разработок этого периода был решен ряд оптимизационных задач орошения для конкретных оросительных систем: задачи оптимизации производственной структуры действующей Алейской О.С., определения оптимальной организации орошения на проектируемом Ключевском опытном участке (В.А.Кардашем и В.Г.Пряжинской); оптимизационный расчет агроэкономической части проектов I очереди Верхне-Сальской обводнительно-оросительной системы и I очереди I пускового комплекса Каховской О.С. (В.А.Кардашем и Н.С.Фелингер).

В 1968 г. В.А.Кардашем был предложен один из методов учета вероятностного характера информации о стоке и осадках в проектных задачах орошения, приводящий к статическим одноресурсным агрегированным моделям [10-13]. Этот метод был разработан В.А.Кардашем совместно с Н.С.Фелингер [13], и на его основе построен ряд моделей и получен ряд формул и уравнений, рекомендованных для расчетов оптимальных значений ключевых параметров проектируемого орошения [10].

В 1969 году м.н.с. Э.О.Рапопорт и В.Н.Дятлов выступили с идеей построения динамических оптимизационных стохастических моделей ирригации с экономическим критерием [14]. Позднее В.А.Кардашем и Э.О.Рапопортом был разработан метод учёта стохастических факторов орошения в моделях, представляющих динамику экономики орошения в виде случайного марковского процесса. На этой основе были построены модели для определения ключевых параметров проектируемого орошения при многолетнем регулировании стока [11].

В.А.Кардашем на основе модели с дискретными исходами условий производства исследованы вопросы применения соотношений двойственности в линейном программировании к анализу экономических проблем орошения в специфических условиях случайных дефицитов водных ресурсов и естественной влаги в почве [10].

Помимо указанных основных направлений аграрных исследований в отделе проводились разработки и некоторых других вопросов экономической оптимизации сельскохозяйственного производства: моделирование и решение задач оптимизации внутрихозяйственной структуры производства, структуры кормов, структуры стада и других.

Ниже кратко излагаются теоретические результаты основных направлений исследований. Ряд разработок был доведен до методической конкретизации и реализован в плановой и проектной практике. Итоги практического внедрения результатов аграрных исследований в отделе изложены в разделе данного сборника, посвященном опыту внедрения экономико-математических методов.

II. Исследования по оптимизации структуры и использования сельскохозяйственной техники

Сущность рассматривавшихся задач состояла в следующем. В хозяйстве (районе, области) с известной структурой посевных площадей по заданной технологии и агротехнике возделывания и уборки культур фиксируются объемы и сроки выполнения отдельных сельскохозяйственных работ. Для каждой из работ могут быть указаны разные варианты их выполнения, то есть составлен список возможных агрегатов, выполняющих данную работу. Каждому агрегату соответствует определенная производительность и прямые производственные затраты. Кроме того, предполагаются известными затраты на содержание одной машины каждой из марок, участвующих в общем списке агрегатов. Эти затраты предполагаются независимыми от фактической нагрузки на машину и связаны лишь с самим фактом наличия её в парке хозяйства. Помимо непосредственных затрат на содержание, сюда могут быть отнесены амортизационные отчисления (или часть их), определенный процент "задавливаемых" фондов и т.д.

Задача состоит в выборе парка машин и графика его работы с тем, чтобы обеспечить выполнение всех работ в нужные сроки с

минимальными общими затратами. При этом может ставиться задача либо на полное приобретение техники (парк отсутствует), либо на пополнение некоторого уже имеющегося парка, либо на распределение машин по работам без учета вариантов докупки. В последних двух случаях предусматривается возможность списания машин, если затраты на их содержание превышают эффект, который при данной обстановке хозяйство может получить при их использовании.

Приведем математическое описание задачи. Пусть P_j , $j = \overline{1, n}$, — объём j -й сельскохозяйственной работы;

T — число периодов, на которые разбивается рассматриваемый сезон;

t_j^0, t_j^1 — соответственно начальный и конечный периоды выполнения j -й работы;

λ_{ij}^s — количество машин марки i , $i = \overline{1, m}$, входящих в s -й агрегат, $s = \overline{1, 2, \dots, n_j}$, который может выполнить j -ю работу;

a_j^s — производительность агрегата за период;

c_j^s — прямые затраты при работе агрегата в течение периода;

Q_i — количество машин i -й марки, имеющееся в хозяйстве;

C_i — стоимость приобретения одной машины i -й марки;

d_i — стоимость содержания машины за весь рассматриваемый

сезон;

x_{jt}^s — количество агрегатов s -го вида, используемых для выполнения j -й работы в период t ;

y_i — количество машин i -й марки, которое следует докупить;

z_i — количество машин i -й марки, которое следует списать.

Задача формулируется так:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Найти } x_{jt}^s, y_i, z_i \geq 0, t = t_j^0, t_j^1; j = \overline{1, n}; s = \overline{1, n_j}; i = \overline{1, m}, \\ \text{при условиях:} \\ 1. \sum_{t=t_j^0}^{t_j^1} \sum_{s=1}^{n_j} a_j^s x_{jt}^s = P_j, j = \overline{1, n}; \\ 2. \sum_{j=1}^n \sum_{s=1}^{n_j} \lambda_{ij}^s x_{jt}^s \leq Q_i + y_i - z_i, i = \overline{1, m}; t = \overline{1, T}; \\ 3. \sum_{j=1}^n \sum_{t=t_j^0}^{t_j^1} \sum_{s=1}^{n_j} c_j^s x_{jt}^s + \sum_{i=1}^m d_i (Q_i + y_i - z_i) + \alpha \cdot \sum_{i=1}^m C_i y_i = \min, \end{array} \right\} \quad (\text{I.П})$$

где α — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений.

С применением несколько модифицированной модели (I.П) можно осуществлять также выбор наиболее рациональных сроков выполнения работ, сопоставляя потери урожая от растягивания сроков выполнения работы j (варианты t_j^0 и t_j^1) с выигрышем за счет уменьшения количества необходимой техники.

Объективно обусловленные оценки сельскохозяйственных работ и машин по периодам, получаемые из оптимального плана при использовании модели (I.П), могут найти широкое применение в экономическом анализе. С их помощью оценивается эффективность нового агрегата, технологического процесса, определяется целесообразность внедрения в производство нового трактора или сельскохозяйственной машины, границы целесообразности этого внедрения; по предельному экономическому эффекту новой машины в оптимальном плане можно рассчитать верхний предел цены, которая может быть на неё установлена и т.п. [16].

В настоящее время научно-методические разработки по оптимизации комплектования и использования машинно-тракторного парка, в частности разработанная совместно с СибВМиМ "Инструкция" [15], используются для массовых оптимизационных расчетов на ЭВМ планов технического обеспечения колхозов и совхозов.

III. Оптимизация размещения сельскохозяйственного производства и построение системы экономических регуляторов

Разработка модели оптимального размещения сельскохозяйственного производства проводилась одновременно с выполнением расчетов на ЭВМ по реальным объектам. В ряде случаев содержание и структура модели в значительной степени определялись наличием исходной информации и требованиями к результатам решения задачи.

Первоначально составленная (в 1961 г.) линейно-программная модель была реализована при проведении экспериментальных расчетов по размещению сельскохозяйственного производства по природно-экономическим зонам Новосибирской области.

Различие условий производства в зонах было отражено в модели введением балансовых ограничений на наличие и использование основных производственных ресурсов: трудовых (по пе-

риодам), земельных, кормовых. Для основных продуктов сельского хозяйства в условия задачи были введены ограничения по минимально необходимым объемам их производства. В эту модель в качестве переменных были включены различные варианты развития отраслей растениеводства (по использованию продукции — для товарных целей и на корм скоту) и животноводства (отличающиеся принятой структурой стада, уровнями продуктивности и типами кормления животных).

Детальный анализ полученного решения показал пригодность модели для проведения плановых расчетов и вместе с тем позволил выявить некоторые её недостатки. В дальнейшем отдельные части модели размещения и структуры сельскохозяйственного производства проверялись и отрабатывались путем проведения многочисленных расчетов по данным конкретных хозяйств с вариацией исходных данных, постановок задач, использованием различных критериев оптимальности.

Разработанные методические подходы к решению вопросов оптимизации размещения сельскохозяйственного производства и накопленный опыт решения конкретных задач позволили в 1967-68 гг. в сотрудничестве с СибНИИСХозом поставить и решить в нескольких вариантах задачу определения оптимального размещения сельского хозяйства по природно-экономическим зонам Омской области на базе реальных плановых и отчетных данных. Сначала были проведены расчеты на 1970 г. с использованием плановых показателей урожайности, продуктивности, затрат и др., затем — на основе фактически достигнутых показателей — расчеты с целью выявления имеющихся резервов увеличения объемов производства продукции и повышения его эффективности за счет рационализации размещения.

Так как уже при постановке этих задач было ясно, что основной выигрыш может быть получен прежде всего за счет рационального использования посевных площадей, отводимых под кормовые культуры, в модели были достаточно детально отражены условия по созданию кормовой базы.

При решении указанных задач были использованы различные способы представления в модели требований к структуре посевных площадей: путем задания различных вариантов севооборотов с целью выбора из них наилучших, введением ограничений на посевные площади под различные культуры (или их группы), определяемых с учетом агротехнических требований.

В задаче были учтены наличие основных ресурсов и возможности их увеличения: наряду с имеющимися трудовыми ресурсами предусматривалось их привлечение со стороны (с повышенной оплатой), кроме имеющихся животноводческих помещений, учитывалось также их расширение за счет строительства.

Используемые модели позволили получить достаточно реальные планы, превосходящие составленные традиционными методами как с точки зрения объемов производства основных видов продукции, так и с точки зрения его эффективности. Если в учитываемый при расчетах период хозяйства области почти ежегодно получали убытки, то при оптимальном размещении рентабельность может достигнуть 23% (в целом по области).

При существующих методах планирования часто предусматриваются примерно одинаковые темпы развития отраслей по объектам (принцип планирования - "от достигнутого"), что подтверждается статистическими данными и по Омской области. Однако здесь, ввиду существенных различий природных и экономических условий по зонам, целесообразность такого подхода ставится под сомнение уже при анализе сложившихся пропорций и темпов развития различных отраслей по зонам с учетом их эффективности. Оптимизационными расчетами было установлено, что размещение отраслей скотоводства и овцеводства не вполне соответствует обеспеченности зон естественными кормовыми угодиями: в северных районах, достаточно обеспеченных естественными сенокосами и пастбищами, является рациональным увеличение поголовья крупного рогатого скота и овец, а в южных районах целесообразнее развивать зерновое хозяйство и потребляющие его продукцию отрасли свиноводства и птицеводства.

Анализ полученного решения с широким использованием о.о. оценок позволил наметить обоснованные сдвиги в размещении сельского хозяйства по зонам и рекомендовать более эффективную структуру производства в каждой зоне.

Одновременно с разработкой моделей рационального размещения сельскохозяйственного производства исследовались и вопросы построения системы экономических показателей, которые, наряду с другими своими функциями, стимулировали бы реализацию оптимальных плановых решений.

Как известно, даже при рациональном размещении предприятия, имеющие лучшие почвенно-климатические условия или более удобное

местоположение, получают избыточный доход - дифференциальную ренту. В настоящее время формы распределения ренты (через зональные закупочные цены и изъятие подоходного налога в колхозах и отчислений от прибыли в совхозах) являются весьма несовершенными, в результате чего создаются большие различия в экономическом положении сельскохозяйственных предприятий. В связи с тем, что существующие цены и взаимоотношения предприятий с бюджетом не соответствуют рациональным планам, они не дают достаточных стимулов для принятия оптимальных хозяйственных решений, в частности, связанных со специализацией, интенсификацией, межхозяйственной и межрайонной кооперацией и т.п.

Как известно, линейно-программные (и вообще оптимизационные) модели экономики исключительно приспособлены для нахождения, наряду с оптимальными планами, также надлежащей системы поддерживающих его экономических показателей и оценок.

Исследование моделей размещения сельскохозяйственного производства позволяет разработать методику расчета таких показателей, как оптовые цены на сельскохозяйственную продукцию, рентные оценки земли, оценки фондов, воды, труда. Но еще более важным представляется тот теоретический анализ принципов формирования, количественных связей и структуры экономических показателей, который может быть проведен на основе оценок оптимальной производственной модели. В связи с этим имеется возможность совершенствования существующих экономических показателей и взаимоотношений предприятий с бюджетом уже в настоящее время, до того, как найдут повсеместное применение математические методы оптимального планирования.

В результате теоретического анализа моделей размещения и получаемых на их основе оценок были разработаны предложения по совершенствованию системы экономических показателей в сельском хозяйстве и взаимоотношений предприятий с государством.

Из этого анализа следует необходимость установления единых (или примерно единых, с учетом отклонений в затратах на транспортировку) цен на сельскохозяйственные продукты. В основе этих цен должны лежать общественно необходимые затраты, определяемые при рациональном размещении издержками в районах с наилучшими природными условиями из тех, где производится основная масса продукции. Эти районы должны существенно участвовать в выполнении программы производства соответствующей

продукции, и экономические условия производства в них должны быть общественно нормальными (с точки зрения технической оснащенности, обеспеченности рабочей силой, уровня организации и т.п.). В районах, на основе затрат которых определены цены, все нормально работающие предприятия должны будут получать необходимую для расширенного воспроизводства прибыль, а в районах с лучшими условиями, кроме того, прибыль будет включать также дифференциальную ренту. Функция перераспределения этой ренты возлагается на рентные платежи, исчисляемые, исходя из размеров площадей сельскохозяйственных угодий в зависимости от их местоположения, почвенно-климатических условий и других факторов, влияющих на плодородие земельных участков и на затраты при их обработке, но вне зависимости от формы и степени их фактического использования.

Введение единых цен и рентных платежей в бюджет приведут к повышению заинтересованности предприятий в реализации оптимальных плановых решений, дадут правильную основу для оценки мероприятий по интенсификации производства, сделают возможным более гибкое и эффективное воздействие на производство экономическими, а не административными методами, приведут к экономическому выравниванию положения предприятий, находящихся в различных природных условиях.

Вместе с исследованием теоретических вопросов построения экономических показателей разрабатывалась и методика их расчета. Были построены специальные модели для определения цен и рентных оценок земли. По одной из них были выполнены экспериментальные расчеты по природно-экономическим зонам Омской области. В этой модели предполагались заданными структура производства продукции и общий уровень цен на один ассортиментный набор ее. Цены на отдельные продукты и их соотношения определяются из самой модели. Ввиду специфики модели (в ней отсутствуют структурные ограничения, задаются лишь условия-ограничения по используемым ресурсам и производимым продуктам) суммарная оценка производимой продукции по оптимальным ценам в точности равняется заданному общему уровню цен, а оценка ресурсов — получаемой прибыли. Было проведено распределение прибыли следующим образом. В расчете на единицу используемых трудовых ресурсов и фондов (одинакового качества) в зонах оставлялась одна и та же сумма прибыли, что создавало равные условия для

осуществления расширенного воспроизводства и материального стимулирования. В зависимости от рентной оценки земли были установлены рентные платежи (резко дифференцированные в зависимости от качества земли). С целью стимулирования более эффективного использования лучших земель оставляемая в хозяйствах прибыль должна зависеть от качества угодий: она несколько выше там, где земли лучше. Предлагаемое распределение прибыли приводит к заметному выравниванию рентабельности производства отдельных продуктов и общего экономического положения сельскохозяйственных предприятий, находящихся в различных природно-экономических зонах.

Для построения системы цен и финансовых расчетов предприятий с государством, кроме указанных подходов, базирующихся на использовании линейно-программных моделей, были предложены и другие. В частности, для нахождения цен и рентных оценок земли, соответствующих фактически сложившемуся размещению и структуре сельскохозяйственного производства, была использована следующая модель.

Найти такие цены u_i ($i=1,2,\dots,J$) и рентные оценки земли v_k ($k=1,2,\dots,K$), при которых достигает минимума величина:

$$\sum_{i,k} p_{ik} \cdot (a_{ik} u_i - v_k - a_{ik} c_{ik})^2 \quad (1)$$

и выполняется условие:

$$\sum_{i,k} a_{ik} p_{ik} u_i = (1+m) \cdot \sum_{i,k} a_{ik} p_{ik} \cdot c_{ik}. \quad (2)$$

Здесь p_{ik} обозначает площадь, фактически занимаемую i -й культурой в k -м районе, a_{ik} - урожайность, c_{ik} - издержки производства на единицу продукции. С помощью коэффициента m задается некоторый общий уровень рентабельности производства.

Таким образом, оценочные параметры u_i и v_k определяются из условий минимальных квадратичных отклонений связывающих их соотношений от оптимальных ценностных соотношений. С помощью условия (2) задается общий уровень цен. Для решения задачи (1)-(2) используется метод множителей Лагранжа.

Ввиду специфики задачи (1)-(2) получаемые при её решении значения v_k могут быть как положительными, так и отрицательными. Выравнивание экономических условий по районам страны при

фактически сложившемся размещении сельского хозяйства может быть достигнуто путем установления единых по стране цен и создания специального фонда перераспределения чистого дохода. Чтобы обеспечить выгодность сложившейся структуры производства, необходимо наряду с рентными платежами в бюджет хозяйств, находящихся в благоприятных природных условиях, производить выплату дотаций хозяйствам, в которых эти условия плохие.

В модели (1) - (2) учитывается использование одного производственного ресурса - земли. Но можно учесть также использование и других ресурсов, в частности производственных фондов и труда. В эту модель можно ввести и продукты животноводства, для них в этом случае также будут определены цены.

С использованием модели (1) - (2) были проведены экспериментальные расчеты цен и рентных оценок земли по данным об урожайности, себестоимости и фактическом размещении посевных площадей основных сельскохозяйственных культур по областям и краям РСФСР.

Интересным представляется тот факт, что удельный вес земель, получивших отрицательную рентную оценку, является небольшим. При нормативе рентабельности 50% (к себестоимости) площадь пашни с отрицательной оценкой составляет 15,1%, а при рентабельности 75% - лишь 6,7%. Наличие отрицательных оценок свидетельствует о необходимости использования различных форм экономического стимулирования производства в районах с неблагоприятными природными условиями, в первую очередь, в районах Севера и Дальнего Востока. Даже при самом высоком в условиях модели уровне цен ($m = 1$) в таких областях, как Магаданская и Сахалинская, требуется выделять 500-600 руб. в расчете на 1 га посевных площадей только для того, чтобы возместить издержки производства.

IV. Разработка оптимизационных планово-экономических проблем ирригации

I. Методы учета случайных природных факторов в оптимизационных моделях орошения.

На конечные результаты производственной деятельности в условиях орошаемого земледелия решающее влияние оказывают слу-

чайные природные факторы. Ресурсы воды в источниках орошения и количество естественной влаги в почве – основные величины, определяющие приходную и расходную части водного баланса при орошении – являются, как правило, случайными величинами с большим разбросом частных реализаций. Поэтому выпуск дополнительной продукции от орошения и затраты на нее – также случайные величины. Отсюда конечный экономический эффект от орошения следует рассматривать как случайную величину и задачу экономической оптимизации в орошении ставить как задачу оптимального управления важнейшими характеристиками этой величины.

Каковы бы ни были законы распределения и параметры случайных величин экономического эффекта, важнейшими их характеристиками с точки зрения хозяйственной деятельности можно считать величины частных реализаций эффекта и степень гарантии их получения.

Указанные характеристики определяются: 1) параметрами исходных случайных величин; 2) выбранными параметрами структуры и функционирования оросительной системы. Параметры структуры и функционирования оросительной системы, с помощью которых можно управлять важнейшими характеристиками величины экономического эффекта, зависят в свою очередь от выбора вариантов проектных (стратегических), эксплуатационных и текущих производственных в орошаемом земледелии (тактических) решений.

Специфика применения методов экономической оптимизации в орошении состоит в следующем. При моделировании необходимо выбрать наиболее существенные параметры управления в стохастических условиях и строго учесть их влияние, а также влияние параметров исходных случайных величин на характеристики конечного экономического эффекта. Стержневым вопросом является при этом сравнение по эффективности вариантов управления с целью определения наилучшего из них. При этом возникает специфическая проблема сравнения по вариантам случайных величин экономического эффекта с различными значениями важнейших характеристик. Она сводится к проблеме соизмерения величин реализуемого эффекта и вероятностей (частот) этих реализаций. Такое соизмерение известным образом (взвешиванием величины эффекта на частоту его реализации) осуществляется, например, в такой характеристике, как математическое ожидание случайной величины эффекта. Отсюда в качестве критерия оптимальности в задачах

орошения можно принять критерий максимума математического ожидания экономического эффекта.

Оптимизационные задачи ирригации хорошо описываются с помощью двухэтапной схемы принятия решений в стохастических условиях. В ней наиболее четко разграничиваются роль и условия выбора стратегических и тактических параметров структуры и функционирования оросительной системы.

Двухэтапная схема принятия решений в ирригации такова. Пусть Q - случайная величина, обозначающая объем воды в источнике или ресурсы влаги в почве за оросительный сезон, причем $Q \in [Q, \bar{Q}]$, $f(Q)$ - функция её распределения;

X - искомый вектор стратегических решений (компоненты его - проектируемые мощности каналов, площади, подготавливаемые к орошению и т.д.);

Y_Q - искомый вектор, компоненты которого являются параметрами тактических решений (площади, нормы поливов по культурам и т.д.), зависящих от реализаций Q ;

$C(X)$ - функция приведенных капитальных затрат на реализацию стратегических решений;

$\varphi(X, Y, Q)$ - функция годового чистого дохода при принятии решения $(X; Y)$ и при реализации Q ;

G - область допустимых изменений компонент вектора X ;
 G_{XQ} - область допустимых изменений компонент вектора Y , зависящая от выбора X и реализации Q ;

Φ - функция математического ожидания эффекта от орошения, выраженного, например, в превышении среднегодового чистого дохода над суммой приведенных капитальных затрат.

Если структуру орошения предположить заданной X^0 , то для каждой реализации Q^0 , $Q^0 \in [Q, \bar{Q}]$, имеем задачу оптимизации тактических решений:

Найти $\max_Y \varphi(X^0, Y, Q^0)$ при $Y \in G_{X^0 Q^0}$.

Если для каждого Q известно решение Y^* , то определится и максимальный (при фиксированном X^0) средний годовой чистый доход $\Phi^* = M_Q \varphi(X^0, Y_Q^*, Q)$, где M - символ математического ожидания.

Можно поставить также задачу максимизации среднего годового чистого дохода по стратегическим решениям X при условии, что для каждой реализации Q будут известны какие-либо допустимые ($Y \in G_{XQ}$) тактические решения.

Объединяя условия оптимизации обоих типов параметров, двух-этапную задачу оптимизации орошения запишем так:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Найти } \max_X \tilde{F}(X) = \max_X \{ M \max_Y \varphi(X, Y, Q) - C(X) \} \\ \text{при условиях: } X \in G, Y \in G_{XQ} \end{array} \right\} \quad (I)$$

Разработанные в отделе три метода конкретизации задачи (I) приводят к практически содержательным и в то же время численно реализуемым её постановкам.

Сущность первого метода конкретизации состоит в том, что в линейно-программной задаче с матрицей блочно-диагональной структуры комплексно представляется конечное число N возможных случайных реализаций условий производства (каждый блок описывает один из исходов условий). В коэффициентах целевой функции учитывается частота повторений исходов. Условиями, связывающими блоки, помимо целевой функции, выражающей математическое ожидание эффекта, являются условия на равенства значений стратегических параметров по исходам: $X_1 = X_2 = \dots = X_N = X$, где индексы означают номера исходов условий производства.

Пусть A_ν , C_ν , B_ν - соответственно матрица коэффициентов затрат и выпуска, вектор коэффициентов целевой функции и вектор правых частей ограничений для линейно-программной задачи, описывающей условия производства в исход ν . $Z_\nu = (X_\nu; Y_\nu)$ - искомый вектор стратегических и тактических решений в исход ν . g_ν - частота повторений исхода ν , $\nu = 1, 2, \dots, N$. Сформулируем задачу следующей структуры:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Найти векторы } Z_\nu \geq 0, \quad \nu = 1, 2, \dots, N, \text{ такие, что} \\ 1) \quad A_\nu Z_\nu \leq B_\nu, \quad \nu = \overline{1, N}; \\ 2) \quad X_1 = X_2 = \dots = X_N = X; \\ 3) \quad \sum_{\nu=1}^N (C_\nu, Y_\nu) \cdot g_\nu - C(X) = \max. \end{array} \right\} \quad (2)$$

Здесь $C(X) = CX$ - линейная функция. Предполагается, что размерности матриц и векторы таковы, что допускают выписанные соотношения в соответствии с общими правилами операций с матрицами и векторами. Среди искомых тактических параметров могут быть переменные, также связывающие исходы. Эти переменные мо-

гут выражать целесообразные "перебросы" из исхода в исход ресурсов и продуктов, то есть их резервирование, запасание. Для таких "сквозных" переменных заведомо выполняется условие 2.

Таким образом, модель строится так, что из решения одной задачи линейного программирования получаем и оптимальные стратегические параметры, реализуемые до наблюдения состояний природы, и оптимальные наборы — "заготовки" — тактических управляющих решений на случай каждой реализации условий производства.

То есть осуществляется принцип условных тактических решений: "если исход такой-то, то поступать нужно так-то". Этот принцип наиболее полно осуществим в динамических моделях указанного типа с разветвляющимися во времени "цепочками" решений: "если предыдущие исходы были такими-то, а настоящий исход такой-то, то поступать нужно так-то".

Как нам представляется, стержневой проблемой постановок и решения стохастических задач оптимизации производства является проблема соизмерения величины реализуемого экономического эффекта и степени его гарантии. Как и вопросы соизмерения затрат и их результатов, проблема соизмерения разновременных затрат и выпуска, по нашему мнению, является не формальной, математической, как её иногда понимают, а экономической проблемой, связанной с решением организационно-технологических вопросов. Поэтому при постановках стохастических задач главное мы видим не в поисках формально более усложненных и интересных критериев оптимальности (типа минимизации среднеквадратического отклонения случайной величины эффекта от его математического ожидания), а более точное отражение в моделях элементов ущербов и выигрышей в "игре" случайных условий и сознательной деятельности человека. Модель (2) предусматривает обязательное выполнение всех ограничений по ресурсам и продуктам в каждый исход. Но эта жесткость постановки только кажущаяся. Всё дело в том, какие предусмотрены тактические организационные и технологические мероприятия, способы маневрирования средствами в каждый исход, способы корректировки балансов. Ведь в реальной обстановке для "выживания" производственной системы в неблагоприятных условиях используются различные пути "смягчения" пагубного влияния таких условий на результаты деятельности. При этом привлекаются и внешние связи данной системы. Скажем, хозяйство в неблагоприятный исход

не в состоянии выполнить план обязательной сдачи продукции государству (минимальный объем). Тогда оно может сдавать эту продукцию в благоприятные исходы в счет выполнения плана в неблагоприятный исход, для чего предусматриваются соответствующие способы "переброса" из исхода в исход с указанием средних затрат на хранение и потерь продукции при хранении. Привлечение внешних, заменяющих способов получения данного продукта с установлением реальных нормативов затрат (например, общее для группы хозяйств условие выполнения заданий по продуктам) определит экономически выгодную меру отказа от производства данного продукта в данном хозяйстве, т.е. уточнит его специализацию.

В моделях с конечным числом исходов могут задаваться также способы запасаения кормов, воды в водохранилищах, создания резервных емкостей хранилищ и складов, закупки резервной техники и т.д.; технологические способы: пересевы погибших посевов, страховые посевы, снегозадержание, "прибивка" влаги и др.

Разбивая таким образом на элементы производственные потери и выигрыши в "игре" природы и человека, мы избавляемся от необходимости вводить в задачу трудно обосновываемые величины средних "штрафов" за невыяски в ограничениях, как это делается, например, в постановках задач с вероятностными ограничениями.

Водность источников орошения и уровни эффективного естественного увлажнения почвы являются непрерывными случайными величинами, распределенными на некоторых интервалах. Чтобы в этих условиях использовать модель (2), предлагается эти интервалы разбить соответственно на N_1 и N_2 частей и в каждой из них усреднить показатели затрат и выпуска, характеризующие соответствующие условия производства. Таким путем, при условии независимости или функциональной зависимости случайных величин водности и осадков, придем к рассмотренной выше ситуации. Точность учета стохастических факторов будет зависеть от числа разбиений N_1 и N_2 интервалов. Опыт показывает, что разбиение интервала урожайностей всего на 3 подынтервала существенно меняет общие выводы о структуре производства при её оптимизации. Учитывая, наряду со средними условиями, крайние (лучшие и худшие) ситуации, мы практически устраняем грубую ошибку усреднения по всему интервалу значений урожайностей, учитывая разброс этих значений. Последний сказыва-

ется на решении особенно через связи кормопроизводства и животноводства.

Применение второго метода конкретизации двухэтапной задачи (I) приводит к статическим одноресурсным агрегированным моделям.

Предполагается, что область G_{XQ} определяется некоторой упорядоченной последовательностью функций: $Q_1(X) < Q_2(X) < \dots < Q_m(X)$ такой, что:

$$Y_Q = \begin{cases} Y_1(Q), & \text{если } 0 \leq Q < Q_1(X); \\ Y_2(Q), & \text{если } Q_1(X) \leq Q < Q_2(X); \\ \dots & \dots \\ Y_m(Q), & \text{если } Q_{m-1}(X) \leq Q \leq \bar{Q}, \end{cases}$$

где $Y_i(Q)$ - известная m -мерная вектор-функция, у которой i -я компонента является непрерывной по Q функцией при фиксированных остальных компонентах.

Функция годового эффекта - ограниченная кусочно-гладкая функция вида:

$$\varphi(X, Y, Q) = \begin{cases} \varphi_1(X, Y_1, Q), \\ \varphi_2(X, Y_2, Q), \\ \dots \\ \varphi_m(X, Y_m, Q). \end{cases}$$

В этом случае задача (I) запишется так:

$$\text{Найти } \max_X \left\{ \sum_{i=1}^m \int_{Q_{i-1}(X)}^{Q_i(X)} \max_{Y_i} \varphi_i(X, Y_i, Q) f'_Q dQ - C(X) \right\} \quad (5)$$

при условии $X \in G$.

Производственно-экономическое содержание модели (3) определяется конкретным заданием функций φ , $Q_i(X)$, $Y_i(Q)$ и $C(X)$. Решение обеспечивается применением известных методов классического анализа.

Третий метод состоит в том, что динамика орошения представляется в виде бесконечного марковского процесса с конечным числом состояний. При известных гипотезах относительно функции годового эффекта $\varphi(X, Y_t, Q_t)$, $t = 1, 2, \dots$, удастся выписать оптимальные тактические параметры $Y_t^*(X, Q_t, \tau = 1, 2, \dots, t)$ как функции от стратегических параметров X и случайных реа-

лизаций Q за все годы, предшествующие году t . Тогда суммарный эффект за t лет выразится так:

$$\Phi_t(X, Y_t^*, Q_t, \tau=1, 2, \dots, t) = \max_{\{Y_\tau\}} \sum_{\tau=1}^t \varphi_\tau(X, Y_\tau, Q_\tau).$$

При гипотезе независимости реализаций Q_τ и при фиксированном X случайные функции максимального суммарного за t лет эффекта Φ_t , $t=1, 2, \dots$, образуют марковский процесс, который при известных условиях оказывается процессом с конечным числом состояний. Для этого случая выписывается ожидаемый (при $t \rightarrow \infty$ и с учетом коэффициентов дисконтирования) эффект $\tilde{\Phi}$ как функция стратегических параметров, которую можно максимизировать по X :

Найти

$$\max_X \tilde{\Phi}(X) = \max_X \{M[\max_{\{Y_t\}} \sum_{t=1}^{\infty} \rho^t \varphi_t(X, Y_t, Q_t)] - C(X)\}. \quad (4)$$

Здесь ρ^t - коэффициент дисконтирования для года t .

На основе этого метода разработана модель многолетнего регулирования речного стока в целях орошения. Получены формулы итеративных расчетов оптимальных тактических решений Y_t^* , $t=1, 2, \dots$, а также формула для определения средних значений эффекта $\tilde{\Phi}(X)$ при фиксированных стратегических параметрах X , что позволяет осуществлять численные решения проектных задач регулирования случайного стока [11].

Таким образом, применяя первый из изложенных методов моделирования орошения, можно подробно учесть организационно-технологическую структуру моделируемого производственного объекта. На основе этого метода разработана система линейно-программных моделей орошения, которые рекомендованы для использования в планировании при определении структуры и функционирования орошаемого земледелия действующих оросительных систем; в проектной практике - при проектировании строительства и реконструкции оросительных систем на стадии экономического обоснования их масштабов и пространственной схемы [10].

Следующие два метода предполагают агрегацию исходных данных. Их рекомендуется использовать для определения и анализа основных, ключевых, проектных параметров развития орошения. Условием, существенно облегчающим численную реализацию соот-

ветствующих моделей, является возможность до решения задачи в целом выписать оптимальную тактику поведения Y как функцию от реализаций Q и набора детерминированных параметров X .

С применением этих методов построена система одноресурсных агрегированных моделей, на основе которых получен ряд формул и уравнений для определения оптимальных значений таких ключевых параметров проектируемого орошения, как общая мощность оросительной сети, общая площадь орошения, ёмкость водохранилища при многолетнем регулировании стока, а также ряд важнейших эксплуатационных параметров [10]. Полученные формулы и уравнения достаточно просты и удобны для применения их в проектной практике. Некоторые из них предполагают использование традиционных таблиц со статистическими характеристиками источника орошения, применяемых сейчас при проектировании оросительных систем.

2. Вопросы оптимизационного экономико-математического анализа в орошении.

Методы экономико-математического анализа на основе объективно обусловленных оценок для случая детерминированных линейно-программных задач в настоящее время достаточно разработаны. Модели с дискретными исходами условий производства являются также моделями линейного программирования, где для каждой реализации условий задается своя группа ограничений. Условия формирования балансов по выпуску товарной продукции, по кормам и прочим ресурсам (по воде, мощностям сети и т.д.) различны для разных исходов. Поэтому продукты и ресурсы в задачах такой структуры получают оценки, дифференцированные по исходам. Так как в задаче с дискретными исходами максимизируется математическое ожидание экономического эффекта (учитывается частота повторения исходов), а также проводится дифференцированный по исходам учёт влияния случайных факторов на производство, то о.о. оценки имеют здесь модифицированное экономическое содержание. Они выражают приращение экономического эффекта с учётом степени гарантии его получения.

В результате исследований на основе моделей с дискретными исходами получен ряд принципиальных выводов. О.о. оценка сельскохозяйственного продукта, получаемая из детерминированной модели, в большой степени зависит от того, какие фиксированы

условия его производства. С учётом колебания этих условий о.о. оценка должна корректироваться на величину среднееголетней стохастической наценки. "Удорожание" продукта может происходить за счет дополнительных затрат на образование и хранение необходимых резервов на случай неблагоприятных исходов (объемы необходимых резервов зависят от фиксированных расчётных условий), а также в связи с привлечением "внешних" источников получения продукта.

Значительную долю некомпенсируемых потерь в сельском хозяйстве отдельных районов составляют ущербы от засух, которые необходимо учитывать как среднееголетние ущербы дифференцированно по районам и использовать их по крайней мере как расчетные оценки эффективности производства данной продукции в данном районе.

Установление экономически обоснованных цен на воду является неперенным условием организации её разумного использования. Цена на воду как один из важнейших рычагов регулирования хозрасчетных отношений должна обеспечить покрытие эксплуатационных затрат водохозяйственной организации, получение ею прибыли, а также рентные платежи за воду, поступающие в госбюджет. В свою очередь плата за воду должна покрываться частью стоимости продукта, получаемого при орошении.

Некоторые экономисты предлагают установить слабо дифференцированную по стране цену на воду, основываясь на средних эксплуатационных затратах. Однако углубленный анализ лишь одной области сложного водного хозяйства - орошения - показывает, что такие цены не могут служить ни целям организации правильного хозрасчета (они сохраняют резкие различия в возможностях получения дополнительного дохода хозрасчетными подразделениями), ни для расчетов действительной эффективности орошения в конкретных условиях.

Как показал оптимизационный анализ, этим целям могут служить цены и рентные платежи, установленные с учетом предельного эффекта от использования воды в водохозяйственном комплексе, т.е. с учетом о.о. оценок воды. Такая дифференцированная (по водоисточникам и хозяйствам) система цен на воду и дифференцированная (по водоисточникам) система рент за воду будет стимулировать борьбу с потерями воды и использование её именно там, где эффект от нее не ниже предельного в оптималь-

ном плане водопользования. Только в этом случае хозяйство, покрыв затраты на воду, может получить свою долю от орошаемого земледелия. Эта же система цен и рент будет стимулировать, с другой стороны, реализацию оптимального плана водораспределения, так как лишь при такой системе водохозяйственная организация сможет: 1) покрыть свои затраты; 2) выплатить ренту государству за использование водисточника; 3) получить свою долю прибыли.

Как следует из решения задач по моделям с дискретными исходами, о.о. оценки воды по исходам могут колебаться в довольно широком диапазоне (отношение минимальной и максимальной по исходам оценок достигает 1 : 10 и более). Отсюда следует, что цены и ренты должны дифференцироваться также и по исходам, в зависимости от степени дефицитности воды. Дифференциация, по нашему мнению, может быть достаточной даже по 2 - 3 уровням и устанавливается на основе о.о. оценок воды, получаемых из моделей соответственно с 2 - 3 дискретными исходами условий орошения.

У. Некоторые вопросы совершенствования оптимизационных моделей аграрных планово-экономических проблем

Учет случайных природных факторов не менее важен и при моделировании планово-экономических задач сельхозпроизводства в условиях богарного земледелия, особенно для зон неустойчивого естественного увлажнения. Вместе с тем разработанные в МЭО методы конкретизации в моделях двухэтапной схемы принятия решений вполне применимы и для учёта случайных колебаний урожайностей культур на богаре, случайных условий производства механизированных полевых работ и т.п. В настоящее время при планировании и экономическом анализе сельхозпроизводства, в том числе и с применением оптимизационных методов, статистика урожайностей используется в лучшем случае для расчета средней урожайности (с учетом роста уровня агротехники). Однако не менее важная характеристика закона распределения этой случайной величины - дисперсия её - вовсе не учитывается (особенно важно её учитывать при решении вопросов регулирования динамики урожайностей). Поэтому даже при гипотезе равномерного распре-

деления, при которой учитывается интервал колебаний и нижняя граница урожайности, по нашему мнению, гораздо более достоверно могла бы быть отражена дифференциация условий сельскохозяйственного производства по районам страны.

Разбивая интервалы урожайностей культур хотя бы на три подинтервала и усредняя затем урожайности в пределах подинтервалов, можно формулировать линейно-программные задачи оптимизации сельскохозяйственного производства соответственно с тремя исходами с известной (из реальной или имитированной статистики) частотой повторений. Модели такой структуры уже сейчас можно с успехом использовать в планировании и экономическом анализе.

Как показали исследования, учёт различных по урожайности исходов даёт в оптимизационных решениях структуру производства (структуру отраслей, посевных площадей, животноводства), как правило, существенно отличающуюся от структуры, полученной при оптимизации на основе урожайностей, усреднённых по всему диапазону их колебаний. Вместе с тем с учётом исходов при большой детализации условий производства получаются задачи больших размеров, что затрудняет их численную реализацию. Поэтому сельскохозяйственные задачи целесообразно решать в два этапа. На первом этапе по укрупнённой модели, учитывающей лишь основные условия производства, с 3-4 исходами по урожайностям, определяется структура производства с учётом лишь основных требований и ограничений. Безусловно важными, например, являются здесь балансы по кормам, основные способы смягчения влияния неблагоприятных исходов (способы резервирования продуктов и ресурсов и т.п.). На втором этапе при фиксированных основных параметрах структуры производства для каждого из выделённых возможных исходов детализируются планы тактических мероприятий.

Из анализа проблем оптимизации в условиях существенных случайных колебаний урожайностей следует также вывод о том, что в задачах размещения сельхозпроизводства и заготовок необходимо учитывать связи объемов резервируемой продукции и внешних закупок с принятыми уровнями плановых урожайностей, от которых зависит степень гарантированности производства.

Л и т е р а т у р а

1. КАНТОРОВИЧ Л.В. Математические методы организации и планирования производства. Изд-во ЛГУ, 1939.
2. КАНТОРОВИЧ Л.В. Экономический расчёт наилучшего использования ресурсов. М., "Наука", 1959.
3. КАНТОРОВИЧ Л.В. Перспективы применения методов оптимального программирования в сельскохозяйственном производстве. - В кн.: Применение математических методов в экономических исследованиях по сельскому хозяйству. М., "Экономика", 1964.
4. КАНТОРОВИЧ Л.В. Пути применения математических методов в сельскохозяйственном производстве. - В кн.: Оптимальные модели орошения (материалы совещания в г. Новосибирске в марте 1967 г.), М., 1968.
5. КАНТОРОВИЧ Л.В., ВИРЧЕНКО М.И. Математико-экономический анализ плановых решений и экономические условия их реализации. - В кн.: Вопросы анализа плановых решений в сельском хозяйстве. Ч. I, Новосибирск, 1971.
6. ВИРЧЕНКО М.И. Модель размещения и структуры сельскохозяйственного производства. - В кн.: Математические модели и методы оптимального планирования. Новосибирск, "Наука", 1966.
7. ВИРЧЕНКО М.И., ШЕТЕЛОВ А.К. Некоторые вопросы оптимального внутриобластного размещения и специализации сельского хозяйства по природно-экономическим зонам. Там же, где работа [4].
8. ДИКИН И.И. Расчёт цен и рент на основе данных о производственных затратах в условиях сложившейся структуры посевных площадей. Там же, где работа [4].
9. ВИРЧЕНКО М.И., ТРУБЕЦКАЯ Н.М. О возможностях использования некоторых моделей сочетания отраслей сельского хозяйства, отличающихся полнотой и способами учета ограничений по кормовой базе. - В кн.: Математические методы планирования сельского хозяйства. Новосибирск, 1970.
10. КАРДАШ В.А. Экономическая оптимизация в орошении. - В кн.: Вопросы анализа плановых решений в сельском хозяйстве. Ч. II. Новосибирск, 1972.
11. КАРДАШ В.А., РАПОПОРТ Э.О. Об оптимальной политике орошения в условиях зарегулирования стока. - В кн.: Оптимизация. Вып. 7(24). Новосибирск, "Наука", 1972.
12. КАРДАШ В.А., ПРИЖИМСКАЯ В.Г. Выбор оптимальных вариантов строительства и эксплуатации оросительных систем. - В кн.: Обзорная информация ЦНТИ. Вып. 2. М., 1966.
13. КАРДАШ В.А., ФЕЛИНГЕР Н.С. К вопросу о выборе оптимальной расчётной водообеспеченности оросительных систем. - В кн.: Экономико-математические методы и вычислительная техника в сельском хозяйстве. Вып. 2. Новосибирск, НСХИ, 1968.
14. РАПОПОРТ Э.О., ДИТЛОВ В.Н. Об одной простейшей модели построения оросительного комплекса. - В кн.: Совещание по применению математических методов и ЭВМ в мелиорации и водном хозяйстве (Ереван, 9-13 декабря 1969 г.). М., ВНИИГим., 1969.

15. Инструкция по расчету потребности и оптимального использования сельскохозяйственной техники методами линейного программирования с применением электронных вычислительных машин. Новосибирск, 1964.
16. МАКСИМОВА Т.Т. Планирование заказа сельскохозяйственной техники с применением линейного программирования. - В кн.: Оптимальное планирование, № 3. Новосибирск, "Наука", 1966.
17. БОНДАРЕНКО Ю.В. Некоторые вопросы, связанные с выбором оптимальной структуры механизированного звена. Там же, где работа [4].

Поступила в ред.-изд. отд.

20. II. 1974 г.