

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ПРОДУКТИВНОСТИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ ДЛЯ РАЗВИВАЮЩИХСЯ РЕГИОНОВ

Байрамов О. Б. о.

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Москва, Россия
orudzh_bayramov@mail.ru

Аннотация. Рассматривается возможность использования моделей оценки продуктивности в сельском хозяйстве (животноводства и растениеводства), разработанных для Московской области в других регионах. Анализируется структура конкретных отраслей сельского хозяйства конкретного региона и обосновывается использование предлагаемых моделей.

Ключевые слова: растениеводство, животноводство, овцеводство, динамическая модель, продуктивность, ограничения, функционалы модели.

Введение

В настоящее время экономика в целом, сельское хозяйство в частности Азербайджанской Республики находится на подъеме. Сельское хозяйство получило дополнительные импульсы роста после принятия общегосударственных мер по восстановлению разрушенных территорий и их инфраструктур. В районах, освобожденных в конце 2020 года, в советское время, до начала 1990-х годов, успешно развивалось сельское хозяйство и его основные секторы – растениеводство и животноводство. И в настоящее время в животноводстве в целом (доля в сельском хозяйстве составляет около 40 процентов) можно выделить скотоводство, птицеводство, пчеловодство. Плодородная земля и климат гарантируют развитие растениеводства (доля в производстве сельского хозяйства около 60 процентов).

Правильный выбор развиваемой отрасли сельского хозяйства имеет определяющее значение для предпринимателей, региональных и республиканских структур. После 30-летней разрухи стремительное восстановление инфраструктуры и экономики районов малоэффективно без научно обоснованных подходов оценки возможностей отраслей сельского хозяйства. Задача представляется непростой, так как необходимая информация об урожайности растениеводческих культур, о климате, о структуре и поголовье крупного рогатого скота и др. (например, овец) в силу объективных обстоятельств в лучшем случае неполная. Предлагается использовать опыт разработки моделей оценки предельной продуктивности животноводства в Московской области в 1980-е годы и на его основе разработать аналогичные модели и рекомендации для восстанавливаемых районов республики.

1. О модели оценки продуктивности животноводства

Ниже приводится краткое описание разработанной для Московской области системы моделей (подробно см., напр. [1]). Она позволяет реализовать некоторую декомпозиционную схему решения сформулированной проблемы. Система состоит из четырех информационно взаимосвязанных моделей. Обозначим их через *A*, *B*, *C*, *D*. Первые три модели – статические, модель *D* – динамическая. Все модели взаимодействуют с *A*, между собой взаимодействуют также *C* и *D*.

Модель A – общая модель размещения сельхозпроизводства по районам Московской области и состоит из двух блоков – растениеводческого и блока производства животноводческой продукции. Первый блок описан более подробно (с учетом различных агроклиматических зон в районах, возможных севооборотов, с учетом внесения органических и минеральных удобрений, с учетом возможности проведения мелиоративных мероприятий), животноводство – менее подробно. Представлена наиболее развитая в области отрасль – содержание крупного рогатого скота (КРС). Другие отрасли могут быть учтены путем изъятия части кормов, рассчитанной по нормативам, необходимым для производства остальных видов животноводческой продукции. Рассматриваемое стадо КРС состоит из трех частей – основное (молоко производящее), ремонтное и откормочное. Также рассматриваются четыре вида корма – концентраты, грубые, сочные, зеленые корма.

Результат решения задачи *A* – количество производимого по районам мяса, молока и количество кормов различного вида, производимого в этих районах. Последние являются входной информацией для задачи *B*.

Модель B – в этой модели для каждого района или для всей области в целом при заданных кормах решается задача о выборе рациональной техники кормления трех основных групп стада КРС. Основной корректирующей информацией, передающейся задаче *A*, является информация о рациональной

технологии кормления молочного стада и технологии откорма молодняка. С этими новыми данными повторяется решение задачи *A*. Этот итерационный процесс повторяется до тех пор, пока различия между решениями задач *A* и *B* станут незначительными. После этого решается задача *C*.

Модель C – с помощью этой модели решается по существу та же задача, что и *B*, однако описание всех процессов в отрасли максимально подробное, основанное на известной нормативной базе. Возможно разбиение стада КРС на произвольное число половозрастных групп. Как и задача *B*, задача *C* служит для корректировки решения задачи *A*.

Модель D. Все описанные расчеты проводятся для стационарного случая, то есть в предположении, что урожайности кормовых культур не меняются от года к году и равны средним значениям. Задача *D* решает детерминированную проблему оптимального управления процессом производства животноводческой продукции на конечном интервале времени продолжительностью в несколько лет при известных временных рядах, характеризующих кормовую базу. В результате решения этой задачи получаются временные ряды производства животноводческой продукции, по которым можно вычислить все необходимые характеристики (среднее значение, разброс и т.д.). При необходимости полученную информацию можно использовать для корректировки решения задачи *A*.

Основными переменными для животноводства в рассматриваемых моделях являются переменные $X(r, t)$ – численность животных, выращиваемых по технологии t в районе r . Технология животноводства характеризуется выходом основных видов продукции, а также потребностями в кормах и других ресурсах. Производство животноводческой продукции $Y(r)$ вычисляется по формуле

$$Y(r) = Y(r, t) \times X(r, t), \quad (1)$$

где $Y(r, t)$ – выход продукции от одной головы животного по технологии t .

В модели основные виды продукции животноводства – молоко, мясо. Корма распределяются на местные и привозные.

Входной информацией для агрегированной модели производства животноводческой продукции стадом КРС являются объемы производства кормов, рассчитанные в модели *A*, и план по производству (или структура производства) мясомолочной продукции. В процессе расчета формируются требования к кормовой базе для полноценного удовлетворения животных в различных видах корма. На основе выработанных нормативов производятся расчеты на модели *A*.

1.1. Ограничения модели

Ограничения модели можно разбить на несколько групп.

Первая группа – балансовые соотношения, описывающие распределение имеющихся кормов между группами животных. Вторая группа ограничений описывает множество допустимых рационов животных. Третья группа ограничений моделирует связь продуктивности сельскохозяйственных животных с общим объемом потребления корма. Построенная производственная функция задает зависимость производства мясомолочной продукции от численности животных и суммарного потребления кормовых единиц и перевариваемого протеина. Последняя группа определяет структуру стада. Она состоит из соотношений на численности различных половозрастных групп.

Информационной базой для модели служат данные о наличии кормов и их питательности. Функция продуктивности и ограничения на структуру региона строятся на основе справочных данных и корректируются по фактическим. Переменными в задаче являются потребление кормов и численность различных половозрастных групп, производство мясомолочной продукции.

Критерием является максимизация производства мясомолочной продукции. В процессе расчета определяется сбалансированный по расходу кормов план производства мясомолочной продукции. Оптимальный план содержит объемы потребления кормов каждой группой животных и численность этой группы.

Численные эксперименты с использованием агрегированной модели оборота стада КРС проводятся в два шага. Первый шаг – вспомогательный. На нем формируется кормовая база и требования к производству мясомолочной продукции. В предлагаемой версии системы моделей используется модель *A*. Второй шаг – основной. На нем производятся эксперименты с моделью производства продукции стадам КРС.

Решение задачи осуществляется с использованием пакета линейного программирования RUNLP, разработанного в ВЦ АН СССР, и полностью автоматизировано. В результате решения определяются 1) численность различных половозрастных групп, 2) расход корма на питание каждой из этих групп, 3) производство мясомолочной продукции.

Полученное решение является основой для пересчета нормативов, используемых при экспериментах на модели *A*.

В качестве основных модельных предположений, лежащих в основе формального описания основных блоков модели, выделяются:

- связи продуктивности животных с режимами кормления, где учитывается питательность и структура рационов;
- структура стада КРС.

Центральным местом модели является описание связей продуктивности сельскохозяйственных животных с режимами их кормления. В основе фундаментальной зависимости продуктивности животных от рациона кормления лежит хорошо согласующееся с данными справочников (см., например, [2]) представление о возможности моделирования этих связей кусочно-линейными функциями. По формальному описанию модели можно выделить блок распределения кормов и блок расчета продукции животноводства.

Модель производства молока и мяса предназначена для выработки оптимального варианта поголовья и объемов производства мяса и молока, исходя из наличного запаса кормов, баланса связей между стадами и составляющими их группами, а также требований к рационам кормления. Исходными данными являются множество групп животных, коэффициенты рождаемости, смертности и др., переменные модели – количество голов в группе, годовое количество корма конкретного вида и др. Уравнениями модели являются балансовые соотношения, распределения телочек, ограничения на количество кормов и др.

1.2. Функционалы модели

Функционал строится на основе компонент F_1 – производство мяса – и F_2 – производство молока. Тогда функционал равен

$$F = L \times F_1 + (1 - L) \times F_2, \quad (2)$$

где L – весовой множитель.

Также производство мяса и молока определяются соответствующими формулами.

Общий функционал F является взвешенной суммой своих компонентов. Возможны другие виды общего функционала – например, максимизация производства молока при условии, что мясо производится в достаточном количестве или максимизация общего производства мяса и молока при сохранении структуры производства.

1.3. Динамическая модель животноводства

В этой модели все связи между отдельными группами стада животных можно представить в виде ориентированного графа, где каждая вершина характеризуется весом – численностью соответствующей группы животных, а дуги с приписанными к ним весами характеризуют интенсивность перехода между этими группами. Для данной модели сформулированы соответствующие балансовые соотношения, соотношения о количестве животных в группе до выбраковки и смерти и др.

2. Об отраслях сельского хозяйства Азербайджана в восстанавливаемых районах

Рассмотренную выше модель предлагается использовать, в первую очередь, для восстановления и развития сельского хозяйства в освобожденных районах Азербайджана.

Несмотря на то, что животноводство является самой важной отраслью сельского хозяйства Азербайджана, оно лишь наполовину удовлетворяет потребность населения в мясе, молоке и др. Обширные пастбища и недостаток посевных территорий в горных районах дали большой толчок развитию животноводства, чем растениеводству. Животноводство более развито именно в горных районах Азербайджана, включая Кельбаджарский, Лачинский районы.

Более половины общей производимой продукции в животноводстве падает на долю скотоводства, включая производство 45% процентов мяса. Основная доля в скотоводстве приходится на крупный рогатый скот. Во всех районах Азербайджана развито скотоводство. 70% крупного рогатого скота составляют коровы и буйволы.

Овцеводство развито в горных и предгорных зонах страны. Используются мясо, шкура и шерсть баранов. Овцеводство превратилось в очень выгодную отрасль животноводства, способную быстро удовлетворить потребность населения в мясе по причине быстрого размножения овец, низкой

потребности в животном корме, небольшого привлечения рабочей силы. Для развития овцеводства в Азербайджане существует достаточное количество естественной кормовой базы, включая летние и зимние пастбища.

2.1. Направления развития секторов сельского хозяйства по районам республики

Ниже кратко рассмотрим направления развития конкретных секторов сельского хозяйства по восстанавливаемым районам республики. Предлагаемая информация взята из открытых источников, в частности, из [3].

Шушинский район. В районе преобладают два типа климата: умеренно-тёплый с засушливыми зимами и холодный с засушливыми зимами. В советские годы основной отраслью экономики района было животноводство.

Лачинский район. Рельеф – гористый, сельхозугодиями не обделен, в советские годы основной отраслью экономики района было животноводство.

Кельбаджарский район. В период СССР экономика Кельбаджарского района состояла из овцеводства, в меньшей степени из полеводства, садоводства, пчеловодства и др. Почти 70% земель, пригодных к сельскому хозяйству, составляли пастбища. На большей части посевных земель выращивались кормовые культуры, реже зерновые, табак и овощные.

Зангеланский район. На горной территории района распространены леса, которые в некоторых местах постепенно уменьшаются и образуют субальпийские и альпийские луга. Территория района богата лечебными растениями и родниками.

Кубатлинский район. В районе в основном распространены коричневые горнолесные почвы. Растительный покров состоит из лугов с кустарниками и редколесьем, имеются горные леса.

Тертерский район. Равнинные земли, развитое растениеводство, скотоводство. Территория состоит из серозёмов и луговых почв.

Джебраильский район. До конца 1970-х годов самой крупной отраслью экономики района являлось хлопководство, а в 1980-х годах на первый план выдвинулись виноградарство, животноводство (КРС, овцеводство, около 12 тыс. и свыше 50 тыс. голов соответственно).

Агдамский район. Рельеф в основном равнинный, частично горный. Осуществляется выращивание граната.

Ходжалинский район. Представляет собой горный район. До 40 % земель богаты фисташковыми, липовыми, кленовыми и другими деревьями.

Вся эта информация служит подтверждением и некоторым обоснованием для того, чтобы с учетом местной особенности (климат, сложившийся расклад секторов сельского хозяйства) использовать вышеупомянутую модель в планировании, оценки продуктивности продукции сельского хозяйства.

2.2. Об особенностях моделирования оценки продуктивности овцеводства

Остановимся на модели оценки продукции овцеводства. Обычно в качестве последней выделяют производство мяса, молока, шерсти, иногда и шкуры. Пусть имеется некоторое количество корма в объеме M . Рассмотрим группу одинаковых животных (овец) с известной функцией продуктивности каждого животного $P(z)$, где z – количество корма. Требуется определить такую численность стада N и количество корма z^i ($i = 1, \dots, N$), чтобы максимизировать суммарную продуктивность стада при известном количестве корма M .

Задача оптимизации норм кормления и численности стада выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} f(M) = \max \sum_{i=1}^n P^i(z^i), \\ \sum_{i=1}^n z^i = M, \quad z^i \geq 0 \end{cases} \quad (3)$$

Относительно вида функции $P^i(z)$ имеется достаточно мало информации. Пока в соответствии с традиционными видами получаемой на выходе продукции $P^i(z)$ представим ее условно как

$$P^i(z) = P_1^i(z) + P_2^i(z) + P_3^i(z). \quad (4)$$

Вопрос зависимости продуктивности от количества корма имеет немаловажное значение, но получить более точное представление о виде этой зависимости проблематично из-за отсутствия необходимой информации в достаточном объеме.

Рассматриваемая задача оптимизации была разработана для КРС [4], она применима и для овцеводства с учетом его особенностей. Содержание стада овец (климатические условия рассматриваемого региона республики, обеспечение стада кормами в достаточном количестве) достигается с меньшими затратами, моделирование соответствующей задачи требует меньше данных (структура, рацион требуемых кормов). Полученный для КРС следующий вывод [4] можно отнести и для стада овец: для получения максимального количества продукции надо кормить животных по возможности максимальной нормой и численность стада при этом содержать минимальной (в случае, если $P(z)$ – кусочно-линейная функция). В случае, когда $P(z)$ – дифференцируемая, соответствующий вывод такой: максимум продуктивности достигается при одинаковом питании животных и такой численности, при которой продуктивность каждого животного, вычисленная на единицу потребляемого корма, максимальна. Как следствие, определяется и численность стада при заданном количестве корма M .

Коротко остановимся на одной математической модели животноводства в хозяйстве, предназначенной для оценки возможностей хозяйства по производству животноводческой продукции, которая может быть использована в овцеводстве тоже. Будем считать, что хозяйство производит только животноводческую продукцию и имеется только одна отрасль животноводства – КРС. При составлении модели учитывается, что информация о продуктивности различных групп животных имеется только в виде конечного и ограниченного набора вариантов кормления и соответствующих им продуктивностей. В свою очередь, такой вариант определенным образом соотносится и с овцеводством.

Основное стадо разбивается на n_0 групп, численность каждой группы – n_{0_i} , $i = 1, \dots, n_0$. Продуктивность i -й группы равна P_0^i .

Остальных животных разобьем на 2 группы: первая группа – ремонтный молодняк. Так как кормление молодых представителей стада должно производиться в соответствии с планируемой продуктивностью, то в этой стационарной задаче будем считать, что i -я группа основного стада воспроизводится за счет своего потомства. Тогда у ремонтного молодняка $n_1 = n_0$ групп. Каждая из этих групп разбивается еще на возрастные группы. Пусть $x_i^{t_1}$ – численность t -й возрастной группы ($t = 1, n_1^i$) ремонтного молодняка с продуктивностью i .

Время пребывания животных в каждой группе – T_1^i и не зависит от i .

Вторая группа – молодняк на откорме. Имеется n_2 технологий откармливания. Каждая i -я технология характеризуется конечным весом животного P_2^i , временем откорма и затратами корма ($i = 1, n_2$).

В каждой технологии откармливания произведем разбиение по возрасту животных. Обозначим через $x_t^{i_2}$ численность молодняка возраста t , откармливаемого по i -й технологии, а через $T_t^{i_2}$ – время пребывания в этой группе. В данном случае $t = 1, n_t^{i_2}$, т.е. число возрастных групп зависит от технологии. Время откорма по i -й технологии равно

$$\sum_{t=1}^{n_t^{i_2}} T_t^{i_2}$$

Все перечисленные группы и связи между ними образуют некоторый граф. Каждая его вершина характеризуется весом – численностью соответствующей группы животных. Приведем соотношения, связывающие веса вершин графа. Для этого введем следующие обозначения:

s – номер вершины (группы),

T_s – количество дней пребывания в s -й группе (T_0 – количество дней в году),

α_s – коэффициент рождаемости,

β_s – коэффициент смертности s -й группы,

γ_s – коэффициент выбраковки s -й группы,

E_s – годовой экспорт из s -й группы,

I_s – годовой импорт в s -ю группу.

Выпишем соотношения:

– для ремонтного молодняка ($t = 1$)

$$x_1^{i_1} = \alpha/2 \times \left(\frac{T_1^1}{T_0} \right) \times x_0^i, \quad i = 1, \dots, n_0.$$

– для молодняка на откорме ($t = 1$)

$$\sum_{i=1}^{n_2} x_1^{i_2} / T_1^{i_2} = \alpha/2T_0 \times \sum_{k=1}^{n_0} x^k$$

– для последних (по возрасту) групп ремонтного молодняка

$$x_p^{i_1} \times \left(\frac{T_0}{T_p^1} \right) \times (1 - \beta_{ip} - \gamma_{ip}) - E_{ip} + I_{1_p} = \beta_i \times x^i, \quad \text{где } p = n_i^1 \quad (5)$$

Для остальных групп, таких, что животные переходят из группы $i - 1$ в i -ю группу:

$$x_i = \left(\frac{T_i}{T_r} \right) \times (1 - \beta_i - \gamma_i) x_r - (E_i + I_i) \times \left(\frac{T_i}{T_0} \right), \quad \text{где } r = i - 1 \quad (6)$$

Относительно функционалов модели – для рассматриваемого сектора (овцеводство)

$$\begin{cases} F = L_1 \times F_1 + L_2 \times F_2 + L_3 \times F_3 \\ L_1 + L_2 + L_3 = 1 \end{cases}, \quad (7)$$

т.е. в качестве критерия, который предстоит максимизировать, берем свертку критериев $F_1 + F_2 + F_3$ (традиционные мясо, молоко, шерсть).

Нелишне напомнить, что объем требуемых данных для овцеводства по сравнению с моделью для КРС меньше, в первую очередь, за счет длительности активного периода жизни, рационов и структур стада.

Коротко остановимся на динамической модели В.Г. Киселева (см. [5]), которую в существующем виде, с соответствующими изменениями можно использовать в регионах и с развитым овцеводством.

Модель является усовершенствованием и уточнением модели, изложенной в [1]. Установлены важные соотношения, связывающую численность голов конкретной группы в фиксированный день с количеством животных, переходящих из одной группы в другую в тот же день, со смертностью и плановой выбраковкой в конкретной группе, убоем животных и др. (обозначения – см. [5]).

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \sum u_{ki}(t) - \sum u_{is}(t) - b_i(t) - d_i(t) - v_i(t), \quad t = 0, 1, \dots, \quad (8)$$

где k, s принадлежат множеству вершин графа G .

В каждой вершине сохраняется баланс потоков

$$\sum u_{is}(t) = \sum u_{ki}(t - r_i) - b_i(t) - d_i(t) - v_i(t). \quad (9)$$

Имеются ограничения для переменных

$$v_i(t) \geq 0, \quad u_{ki}(t) \geq 0, \quad x_i(t) \geq 0. \quad (10)$$

По приведенным моделям описания динамики стада КРС, в зависимости от поставленной задачи можно рассматривать модели со следующими переменными: $(x_i(t), v_i(t), u_{ki}(t))$, $(v_i(t), u_{ki}(t))$, $(u_{ks}(t))$.

Еще раз подчеркиваем адаптируемость и применимость приведенной модели к конкретному региону, с учетом местных особенностей и различий. Применительно к обсуждаемому региону можно добавить, что количество районов в нем почти в пять раз меньше (до 9 районов), чем в Московской области, а значит, данных для модели потребуются меньше. Другая особенность заключается в том, что основная отрасль животноводства в Московской области – разведение крупного рогатого скота, а

в рассмотренных районах Азербайджана в дополнение к этому развито и востребовано овцеводство. Предлагаемую модель можно использовать с учетом и этой особенности региона, то есть в одной модели можно объединить и животноводство, и овцеводство, а также смоделировать каждый блок отдельно. Определенные трудности могут быть связаны с информационной базой, но общедоступные сведения ([2]) могут способствовать получению первых приемлемых результатов.

3. Заключение

Нам представляется, что предлагаемые модели можно использовать для оценки продуктивности животноводства в других регионах в целом, в Азербайджане, в частности, с учетом имеющейся информации и особенности конкретной местности. Доступная информация, не будучи полной, тем не менее позволяет получить результаты, которые в дальнейшем итерационном процессе могут быть улучшены и доведены до требуемого уровня полезности

Литература

1. *Киселев В.Г., Пыхов С.В.* Динамическая модель производства животноводческой продукции. – М.: ВЦ АН СССР, 1987. – 22 с.
2. *Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справочное пособие / А.П. Калашиников, Н.И. Клейменов, В.И. Бакланов и др.: под ред. А.П. Калашиникова, Н.И. Клеймёнова.* – М.: Агропромиздат, 1985. – 352 с.
3. *Аграрно-промышленный комплекс Азербайджана (АПКА). Экономика [Электронный ресурс].* URL: https://www.azerbaijans.com/content_717_ru.html (дата обращения 14.07.2023)
4. *Киселев В.Г.* Математические модели планирования животноводства. – М.: ВЦ АН СССР, 1989. – 25 с.
5. *Киселев В.Г.* Исследование динамической модели производства животноводческой продукции. – М.: ВЦ АН СССР, 1990. – 22 с.