

УДК 631.1:636.086.001.57

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЛАНА ПРОИЗВОДСТВА ВИТАМИННЫХ КОРМОВ И ПОДКОРМКИ ДЛЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

К. П. ЛИЧКО, В. И. ВЕКЛЕНКО

(Кафедра организации социалистических с.-х. предприятий)

При выращивании и откорме крупного рогатого скота необходимо создание зеленого, сенажного, силосного конвейеров, а также сырьевых конвейеров для приготовления искусственно высушенных кормов, сухих и сочных полнорационных кормовых смесей. В хозяйствах особенно сложно планировать сырьевые конвейеры для приготовления витаминных кормов — витаминно-травяной муки, гранул и др. — и зеленые конвейеры, поскольку они должны обеспечивать использование растений в оптимальную фазу развития и наряду с этим ритмичное снабжение скота полноценными кормами.

Вопросы оптимизации таких конвейеров в основном изучаются с технологической точки зрения [2], в экономических работах по данной проблеме сделана попытка при заданных объемах потребности в кормах моделировать только зеленый конвейер по одному условию [1, с. 201].

Известно, что для производства витаминно-травяной муки используются дорогостоящие агрегаты, поэтому особенно важно в течение всего периода их работы обеспечивать непрерывное поступление зеленой массы. Для этого необходимо правильно рассчитать посевные площади отдельных видов культур и возможный валовой выход зеленой массы с них. Период уборки кормовых культур на зеленую массу, когда в растительной массе содержится наибольшее количество питательных веществ, очень короткий, всего 5—20 дней. В связи с этим для создания конвейера требуется большой набор кормовых культур, что затрудняет планирование их посевов и размещение в севооборотах, приводит к необходимости иметь небольшие площади посевов отдельных культур.

Проведенное исследование позволило решить эти вопросы с помощью разработки экономико-математических моделей (ЭММ) оптимальной организации сырьевого конвейера для производства витаминно-травяной муки. Ставилась задача определить оптимальный набор кормовых культур, площади их посевов, обеспечивающих непрерывное поступление зеленой массы по пятидневкам для переработки в витаминно-травяную муку. При этом учитывалось, что каждая кормовая культура должна быть размещена по лучшим предшественникам. Кроме того, определялось соотношение между посевами кормовых культур, используемых для получения зеленой массы, и посевами культур, дающими другие виды кормов (прежде всего зерно).

Математическая запись задачи:

Найти набор значений $\{x_{ij}, x_{jk}, b_{rij}\} \geq 0$, при которых достигается минимальное значение материально-денежных затрат на производство зеленой массы и других видов кормов

$$F_{\min} = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij}.$$

Вводились ограничения:

1) по формированию кормовых севооборотов:

$$\sum_{i \in I_{1j}} x_{ij} = \sum_{k \in K_{1j}} x_{jk}, \quad (j \in J_1);$$

$$\sum_{i \in I_{2j}} x_{ij} \leq \sum_{k \in K_{2j}} x_{jk}, \quad (j \in J_2);$$

2) по распределению валового сбора зеленой массы:

$$a'_{ij} x_{ij} \leq \sum_{r \in R_{1j}} b_{rij} \leq a''_{ij} x_{ij}, \quad (i \in I), \quad (j \in J);$$

3) по формированию зеленого конвейера:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} b_{rij} \geq B_r, \quad (r \in R);$$

4) по заданному объему зеленой массы:

$$B_r \geq A,$$

где I и J — множества соответственно предшествующих и возделываемых культур; J_1 и J_2 — множества культур, различающихся набором последующих и предшествующих культур; I_{1j} и I_{2j} — множества культур, имеющих одни и те же последующие и предшествующие культуры; K_{1j} — множество последующих культур, для которых j -я культура может быть предшественником; K_{2j} — множество предшествующих культур для j -й культуры; a'_{ij} , a''_{ij} — выход зеле-

ной массы по минимальному и максимальному допустимым уровням; b_{rij} —выход зеленой массы j -й культуры по i -му предшественнику в r -й период; c_{ij} — затраты материально-денежных средств на единицу площади j -й культуры по i -му предшественнику; x_{ij} — площадь i -й культуры по j -му предшественнику; x_{jk} — площадь j -й культуры, используемой в качестве предшественника для k -й культуры; B_r — потребность в зеленой массе в r -й период; R —количество периодов использования зеленой массы для производства витаминно-травяной муки (для Курской области $R=31$); A — объем зеленой массы, который необходимо поставить за пятидневку.

Схема ЭММ приведена в табл. 1.

Таблица 1

Схема ЭММ оптимизации сырьевого конвейера для производства витаминно-травяной муки

Блок по формированию кормовых севооборотов	
Блок по распределению валового сбора зеленой массы	
	Блок по формированию сырьевого конвейера
Затраты на 1 га	

Задача решалась по перспективным данным на 1990 г. для производственного объединения Курчатовского района Курской области по откорму и выращиванию молодняка крупного рогатого скота. В состав объединения входят совхоз «Иваненский» и колхозы им. Тельмана и «Заря»; среднегодовое поголовье молодняка крупного рогатого скота — 7 тыс. гол.

В результате решения задачи были определены размеры посевных площадей зерновых и кормовых культур и структура посевов для непрерывного обеспечения работы агрегатов по производству витаминно-травяной муки при использовании для переработки только кормов полевого кормопроизводства (табл. 2).

Для того чтобы обеспечить посевы всех культур только лучшими предшественниками, посевы кормовых культур необходимо сочетать с посевами зерновых; удельный вес первых может быть доведен до

Таблица 2

Размеры посевных площадей для производства 200 т зеленой массы в сутки

Культуры	Посевные площади, га	Структура посевов культур, %	
		всех	кормовых
Оз. зерновые	81	5,9	×
Яр. зерновые	—	—	×
Зернобобовые	99	7,2	×
Итого зерновые	180	13,1	×
Корнеклубнеплоды	81	5,9	6,8
Кукуруза и подсолнечник на зеленый корм	40	2,9	3,4
Озимые на зеленый корм	319	23,3	26,8
Однолетние травы	354	25,8	29,7
Суданская трава	112	8,2	9,4
Многолетние травы	285	20,8	23,9
Итого кормовые	1191	86,9	100,0
Всего посевов	1371	100,0	×
Пожнивные посевы	363	26,5	30,5
Вся кормовая площадь	1554	113,3	130,5

87 %. Среди зерновых культур для подобных севооборотов предпочтительнее использовать озимые зерновые и зернобобовые.

Доминирующее положение среди кормовых культур занимают однолетние травы, озимые на зеленый корм и многолетние травы. Большой удельный вес озимых на зеленый корм и однолетних трав позволяет насытить кормовой севооборот пожнивными посевами. Убираемые на зеленый корм однолетние травы являются хорошей покровной культурой для многолетних трав.

Результаты решения задачи позволяют установить конкретные севообороты, которые наиболее близко отражают оптимальную структуру посевов. Дальнейшие расчеты проводились нами по двум типам звеньев севооборотов:

1	2
1. Озимые на зеленый корм + пож- нивные	1. Озимые на зеленый корм + пож- нивные
2. Однолетние травы	2. Пропашные, суданская трава
	3. Однолетние травы с подсевом мно- голетних трав
	4. Многолетние травы на 1 укос

Используем сформированные звенья севооборотов для уточнения структуры посевных площадей, полученной на предыдущем этапе решения ЭММ. Для этого в задачу вместо ограничений по формированию кормовых севооборотов включаем ограничения по чередованию культур в кормовых севооборотах (с учетом указанных выше звеньев):

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} x_{ij} = \sum_{p \in P} x_{pf}, \quad (f \in F_p),$$

$$x_{j,-1} = x_j, \quad x_1 = x,$$

где P — множество звеньев севооборотов; F_p — множество культур в p -м севообороте.

Остальные ограничения прежние.

По результатам решения задачи на ЭВМ размеры звеньев севооборота 1 составляют 80 га, а одного поля — 40 га, севооборота 2 — соответственно 1112 и 278 га (табл. 3). В севообороте 1 размеры полей слишком малы, поэтому в модель вводятся дополнительные ограничения по соотношению между полями. По мере «ужесточения» требований к размерам поля в севообороте 1 необходимая для производства зеленой массы площадь пашни сначала немного снижается, а затем резко возрастает. Коэффициент использования кормовой площади, или уровень насыщения севооборотов пожнивными посевами, растет довольно равномерно. Увеличиваются затраты на производство зеленой массы, вследствие чего повышается ее себестоимость. Из анализа по-

Таблица 3

Основные результаты решения ЭММ при различном соотношении площадей одного поля севооборотов 1 и 2

Показатели	Соотношение между площадями полей севооборотов 1 и 2		
	свободное	1:2	1:1
Требуется кормовой площади для производства 200 т зеленой массы в 1 сут, га	1192	1190	1248
Размер поля севооборота:			
1	40	119	208
2	278	238	208
Коэффициент интенсивности использования кормовой площади	1,27	1,30	1,33
Затраты материально-денежных средств, тыс. руб.	226,3	232,0	247,3
Стоимость 1 ц зеленой массы, руб.	0,73	0,75	0,80

лученных данных следует, что наиболее эффективный вариант получается при соотношении между полями севооборотов 1:2. В этом случае требуется наименьшее количество земли, размеры полей более рациональны, а затраты на производство зеленой массы возрастают незначительно. Для указанного варианта решения зеленый конвейер позволяет равномерно обеспечить работу сушильного агрегата в течение длительного периода — с мая по октябрь (160 дней).

В основном потребность в зеленой массе в определенную пятидневку обеспечивается за счет посевов одной культуры, реже — двух. В то же время лишь несколько видов кормовых культур используются в течение двух пятидневок, хотя почти все они могут давать зеленую массу 10 дней и больше. Три пятидневки в сентябре используется дешевая ботва сахарной свеклы. При отсутствии в хозяйствах посевов сахарной свеклы потребность в зеленой массе с 11 по 25 сентября будет удовлетворяться за счет других культур. Изменится несколько и структура посевных площадей.

Таблица 4

Размеры посевных площадей для производства 200 т зеленой массы в сутки (с учетом требований к чередованию культур в севооборотах)

Культуры	Посевные площади, га	Структура посевов культур, %			Отклонения
		всех	кормовых	при использовании ботвы	
Оз. зерновые	79	5,4	×	×	×
Яр. зерновые	—	—	×	×	×
Зернобобовые	179	12,3	×	×	×
Итого зерновые	258	17,7	×	×	×
Корнеклубнеплоды	79	5,4	6,6	6,2	+0,4
Кукуруза и подсолнечник на зеленый корм	45	3,1	3,8	3,4	+0,4
Озимые на зеленый корм	318	21,9	26,6	26,8	-0,2
Однолетние травы	353	24,3	29,5	29,7	-0,2
Суданская трава	96	6,6	8,0	9,4	-1,4
Многолетние травы	305	21,0	25,5	23,9	+1,6
Итого кормовые	1196	82,2	100,0	100,0	—
Всего посевов	1455	100,0	×	×	×
Пожнивные	458	31,5	38,3	30,5	+7,8
Вся кормовая площадь	1654	113,7	138,3	130,5	+7,8

Сравнение данных табл. 4 и 2 показывает, что компенсировать недостаток зеленой массы из-за отсутствия посева свеклы можно путем значительного расширения пожнивных посевов, дающих зеленую массу в сентябре. Такое изменение возможно лишь при увеличении посевов зерновых культур. В приведенном решении ЭММ они на 4,6% больше, чем в варианте с посевами свеклы. Для доставки необходимого количества зеленой массы в рассматриваемом варианте кормовая площадь возросла всего на 5 га. Изменения в структуре кормовых посевов менее значительны: посевы многолетних трав несколько увеличились, а суданской травы — сократились.

Как видно из табл. 5, в варианте без ботвы сахарной свеклы основные показатели ЭММ ухудшились: возросли затраты на производство кормов, а стоимость 1 ц зеленой массы увеличилась на 5 коп.

При формировании рассмотренной ЭММ организации сырьевого конвейера для производства витаминно-травяной муки ограничение по заданному объему зеленой массы обеспечивало производство необходимого ее количества в каждую пятидневку без учета питательности. Однако учитывать только объем поставляемых кормов для обеспечения ими скота в течение всего летнего периода недостаточно. Поэтому в ЭММ вместо условий по формированию сырьевого конвейера и по объему зеленой массы были включены следующие ограничения:

Результаты решения ЭММ по двум вариантам — с использованием ботвы сахарной свеклы в зеленом конвейере (I) и без нее (II)

Показатели	I	II	II, % к I
Требуется всего площади, га	1371	1455	106,1
в т. ч. кормовой	1191	1196	100,4
Коэффициент интенсивности использования кормовой площади	1,30	1,36	104,6
Затраты материально-денежных средств на производство зеленой массы, тыс. руб.	229,1	246,2	107,5
Стоимость 1 ц зеленой массы, руб.	0,74	0,79	106,8

по формированию зеленого конвейера и по количеству питательных веществ.

Схема ЭММ для указанного случая приведена в табл. 6.

Таблица 6

Схема ЭММ оптимизации зеленого конвейера для выращивания молодняка крупного рогатого скота

Блок по формированию кормовых севооборотов	
Блок по распределению валового сбора зеленой массы	
	Блок по обеспечению потребности в кормовых единицах
	Блок по обеспечению потребности в переваримом протеине
	Блок по обеспечению потребности в кальции
	Блок по обеспечению потребности в фосфоре
	Блок по обеспечению потребности в каротине
Затраты на единицу площади	

Задача решалась по этапам: вначале задавались ограничения по производству необходимого количества кормовых единиц за каждую пятитдневку; затем включались ограничения по необходимому содержанию переваримого протеина в 1 корм. ед., кальция, фосфора, каротина.

Из табл. 7 следует, что введение ограничений по переваримому протеину привело к увеличению площади как под всеми культурами, так и под кормовыми. Ограничение по кальцию и каротину не вызвало изменений в оптимальном плане, так как все пятитдневки после выполнения требования по протеину оказались сбалансированными по этим элементам. Из-за низкого содержания фосфора во многих видах зеленой массы ограничения по данному элементу определяют необходимость расширения посевных площадей кормовых культур (а следовательно, и зерновых) во все периоды, что приводит к значительному удорожанию производства зеленых кормов. Стоимость 1 ц корм. ед. в этом варианте возросла на 91 коп., или на 23 %, по сравнению с вариантом, где ограничение задано только по кормовым единицам.

Таким образом, при откорме молодняка крупного рогатого скота поступающие корма зеленого конвейера должны быть обеспечены не-

Оценка вариантов зеленого конвейера,
сбалансированного по разным питательным элементам (40 тыс. корм. ед. в 1 сут)

Элементы, по которым сбалансировано производство зеленой массы	Требуется площадь, га		Коэффициент интенсивности использования кормовой площади	Затраты материально-денежных средств на корма, тыс. руб.	Стоимость 1 ц корм. ед., руб.
	всего	под посевы кормовых			
Кормовые единицы	1452	1329	1,27	249,3	4,02
Кормовые единицы, переваримый протеин	1461	1333	1,27	251,5	4,06
Кормовые единицы, переваримый протеин, кальций	1461	1333	1,27	251,5	4,06
Кормовые единицы, переваримый протеин, кальций, фосфор	1852	1461	1,37	305,6	4,93
Кормовые единицы, переваримый протеин, фосфор, кальций, каротин	1852	1461	1,37	305,6	4,93

обходимым количеством переваримого протеина и в еще большей степени фосфора. Концентрированные корма, составляющие лишь небольшую часть рациона летом, не могут покрыть недостатка в фосфоре, так как у них соотношение фосфора и кормовых единиц лишь приближается к требуемому по рациону в целом. Поэтому целесообразно вместе с концентрированными кормами применять минеральные добавки, содержащие фосфор.

Анализ показывает (табл. 8), что при наложении каждого дополнительного ограничения по питательности удельный вес посевов зерновых возрастает, а кормовых — снижается. Наиболее значительные изменения в структуре посевных площадей всех культур, в том числе и кормовых, происходят при введении в задачу ограничений по обеспе-

Таблица 8

Размеры и структура посевных площадей при производстве 40 т корм. ед. зеленой массы в сутки, сбалансированной по разным питательным веществам

Культуры	Посевные площади и структура посевов при производстве зеленой массы, сбалансированной по:					
	кормовым единицам		кормовым единицам и переваримому протеину		всем рассматриваемым элементам питания	
	га	%	га	%	га	%
Озимые	85	5,9	89	6,1	93	5,0
Яр. зерновые	33	2,3	39	2,7	40	2,2
Зернобобовые	5	0,3	—	—	258	13,9
Итого зерновые	123	8,5	128	8,8	391	21,1
Корнеклубнеплоды	85	5,9	89	6,1	93	5,0
Кукуруза и подсолнечник на зеленый корм	96	6,6	107	7,3	86	4,6
Озимые на зеленый корм	360	24,8	361	24,7	545	29,4
Однолетние травы	332	26,3	388	26,6	379	20,5
Суданская трава	119	8,2	106	7,3	102	5,5
Многолетние травы	287	19,8	282	19,3	256	13,8
Итого кормовые	1329	91,5	1333	91,2	1461	78,9
Всего посевов	1452	100,0	1461	100,0	1852	100,0
Пожнивные	361	24,9	364	24,9	545	29,4
Вся кормовая площадь	1690	127,2	1697	127,3	2006	137,3

чению зеленой массы фосфором и всеми рассматриваемыми питательными веществами.

Последний вариант отличается от решения ЭММ с ограничением по содержанию в зеленой массе требуемого количества кормовых единиц более высоким удельным весом озимых на зеленый корм и соответственно относительно большими площадями пожнивных культур. В то же время в этом случае ниже удельный вес посевов однолетних и многолетних трав, кукурузы на зеленый корм.

Переваримого протенна не хватает в зеленой массе в середине августа и в конце сентября — начале октября, дефицит составляет 5—6 % от нормы. Недостаток кальция ощущается в последней пятидневке августа и первой декаде сентября (20—30 %), фосфора — больше чем в половине пятидневок при весьма значительном его дефиците. Так, в конце августа — начале сентября зеленая масса обеспечена фосфором лишь на 50 %, а в конце мая — начале июня только на 0,25 % по отношению к норме. В эти периоды компенсировать его недостаток только с помощью минеральных добавок зоотехнически недопустимо, поэтому необходимо изменять размеры и структуру посевов кормовых культур.

В конце мая и начале июня зеленая масса в варианте без ограничений по элементам питания поступает с посевом смеси многолетних трав, содержащей мало фосфора. При наложении ограничений структура посевов изменилась следующим образом: в последнюю пятидневку мая сбалансированная по основным элементам питания масса поступает с посевов ковра безостого, а в начале июня — с посевов тритикале с викой.

Таким образом, правильное соотношение кормовых единиц и переваримого протенна, кальция, фосфора достигается прежде всего совершенствованием структуры посевов кормовых культур, а также рациональным применением минеральных добавок в летних рационах молодняка крупного рогатого скота.

ЭММ оптимальной организации зеленого конвейера была решена также для случая, когда в хозяйствах отсутствуют посевы сахарной свеклы. В указанном варианте кормовая площадь возросла на 5,7 %, а стоимость 1 ц корм. ед. зеленой массы — на 7,9 %. Сравнение этих данных с полученными при решении аналогичной ЭММ организации сырьевого конвейера для производства витаминно-травяной муки свидетельствует о больших различиях посевных площадей, используемых под кормовые культуры, в вариантах с посевами сахарной свеклы и без нее.

Важным вопросом является одновременная оптимизация сырьевого и зеленого конвейера. Схема ЭММ при решении этой задачи представлена в табл. 9.

Таблица 9

Схема ЭММ оптимизации сырьевого и зеленого конвейеров для молодняка крупного рогатого скота

Блок по формированию кормовых севооборотов		
Блок по распределению валового сбора зеленой массы		
	Блок по формированию сырьевого конвейера	
		Блок по формированию зеленого конвейера (при условии сбалансированности зеленой массы по элементам питания)
Затраты на 1 га		

Размеры посевных площадей и структура посевов при организации зеленого и сырьевого конвейеров (60 т зеленой массы и 40 т корм. ед. в 1 сут)

Культуры	Вариант 1		Вариант 2		Отклонение в структуре посевов варианта 2
	посевные площади, га	структура кормовых посевов, %	посевные площади, га	структура кормовых посевов, %	
Оз. зерновые	117	×	114	×	×
Яр. зерновые	40	×	22	×	×
Зернобобовые	288	×	307	×	×
Итого зерновые	445	×	443	×	×
Корнеклубнеплоды	117	6,4	114	6,3	-0,1
Кукуруза и подсол- нечник на зеленый корм	98	5,4	72	4,0	-1,4
Озимые на зеленый корм	641	35,2	640	35,2	—
Однолетние травы	485	26,7	480	26,4	-0,3
Суданская трава	136	7,5	167	9,2	+1,7
Многолетние травы	342	18,8	344	18,9	+0,1
Итого кормовые	1819	100,0	1817	100,0	—
Всего посевов	2264	×	2260	×	×
Пожнивные	654	36,0	652	35,9	—
Вся кормовая площадь	2473	—	2469	—	—

Примечание. Вариант 1 — результат суммирования двух решений ЭММ, полученных ранее; вариант 2 — решение ЭММ оптимизации сырьевого и зеленого конвейеров одновременно.

Как видно из табл. 10, различия между вариантами 1 и 2 незначительны, однако в варианте 2 (одновременная оптимизация двух конвейеров) появляется возможность более экономного использования кормовых площадей.

Предлагаемый подход к разработке оптимального сырьевого и зеленого конвейеров может войти в систему моделей планирования на уровне предприятий и производственных формирований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кравченко Р. Г. Математ. моделир. эконом. процессов в сельск. хоз-ве. М.: Колос, 1978. — 2. Третьяков Н. Н., Баканов В. Н. и др. Метод. указ. по созданию конвейера для производства вит. кормов и подкормки в животновод. комплексах крупного рогатого скота. М.: ТСХА, 1982.

Статья поступила 19 августа 1983 г.