

## СТАТЬИ

УДК 517.977:636.085:637

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОРМОВОГО ПРОИЗВОДСТВА  
НА ОСНОВЕ ФАКТОРОВ ПОСЕВА  
И ПРЕПОСЕВНОЙ ПОДГОТОВКИ**<sup>1</sup>Акимов С.С., <sup>1,2</sup>Болодурина И.П.<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург,  
e-mail: sergey\_akimov\_work@mail.ru;<sup>2</sup>ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем  
и агротехнологий Российской академии наук», Оренбург

В статье рассматривается проблема повышения продуктивности кормовой базы для обеспечения нужд молочного производства. Показано, что молочное производство играет ключевую роль в экономике страны, однако не в полной мере обеспечивает потребности страны в области продовольственной безопасности. В статье приводится краткий обзор, показывающий, что корма животных определяют значительную часть последующего выхода молока. Объем обеспеченности животноводческих хозяйств кормами зависит напрямую от текущей урожайности кормовых культур, а сама урожайность зависит от множества аграрных, климатических и прочих факторов. При этом основное управляющее воздействие может быть оказано именно на стадии посева и предпосевной подготовки семян, что предопределяет актуальность данного исследования. В качестве измеряемой величины для оценки продуктивности выращиваемого кормового урожая выбрано сухое вещество, которое затем преобразуется в размер надоев. В качестве базы исследования выбраны восемь видов кормовых культур, обеспечивающих более 70% питания животных в нашей стране. Для построения математических зависимостей были вычислены коэффициенты, определяющие выход сухого вещества для каждой из кормовых культур. Для снижения размерности при учете всех факторов посева и предпосевной подготовки применялся квадрат Юдена. На основе квадрата Юдена существенно снижено количество конкретных опытов для получения показателей, определяющих влияние управляющих воздействий на итоговую урожайность. В итоге получены регрессионные уравнения, описывающие выход сухого вещества для каждой из культур под влиянием факторов посева и предпосевной подготовки. Проведенные эксперименты позволили получить конкретные данные о влиянии внешних факторов и управляющих воздействий и разработать систему коэффициентов, применение которых дает достаточно точные оценки урожайности в зависимости от тех или иных параметров.

**Ключевые слова:** кормовое производство, управление эффективностью, факторы посева и предпосевной подготовки

**EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF FORAGE PRODUCTION  
ON THE BASIS OF FACTORS OF SOWING  
AND PRE-SOWING PREPARATION**<sup>1</sup>Akimov S.S., <sup>1,2</sup>Bolodurina I.P.<sup>1</sup>Orenburg State University, Orenburg, e-mail: sergey\_akimov\_work@mail.ru;<sup>2</sup>Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies  
of the Russian Academy of Sciences, Orenburg

The article deals with the problem of increasing the productivity of the forage base to meet the needs of dairy production. It is shown that dairy production plays a key role in the country's economy, but does not fully meet the country's needs in the field of food security. The article provides a brief overview, determining that animal feed determines a significant part of the subsequent milk yield. The volume of provision of livestock farms with feed depends directly on the current yield of forage crops, and the yield itself depends on many agricultural, climatic and other factors. At the same time, the main control action can be provided precisely at the stage of sowing and pre-sowing preparation of seeds, which predetermines the relevance of this study. Dry matter was chosen as a measured value for assessing the productivity of the grown fodder crop, which is then converted into the amount of milk yield. Eight types of fodder crops were selected as the basis for the study, providing more than 70% of animal nutrition in our country. To build mathematical dependencies, coefficients were calculated that determine the dry matter yield for each of the fodder crops. To reduce the dimension, taking into account all the factors of sowing and pre-sowing preparation, Youden's square was used. Based on the Youden square, the number of specific experiments has been significantly reduced to obtain indicators that determine the influence of control actions on the final yield. As a result, regression equations were obtained that describe the dry matter yield for each of the crops under the influence of sowing and pre-sowing preparation factors. The experiments carried out made it possible to obtain specific data on the influence of external factors and control actions and to develop a system of coefficients, the use of which gives fairly accurate yield estimates depending on certain parameters.

**Keywords:** fodder production, efficiency management, sowing and seedbed factors

Одной из важнейших отраслей в настоящее время является молочное животноводство. Для России данное направление играет важнейшую роль в экономике страны,

однако следует заметить, что именно данная отрасль не в полной мере обеспечивает потребности страны в области продовольственной безопасности.

Решением данной проблемы могут стать современные достижения теории и практики управления сложными системами. Подобные системы могут учитывать в себе разнородные факторы и вырабатывать взвешенные решения при оценке их влияния на конечный результат.

Проведенные в ряде работ исследования позволили сделать вывод, что значительная часть современных авторов в качестве основы молочного производства рассматривают кормовую базу [1, 2]. В ряде работ также отмечается, что корма животных определяют значительную часть последующего выхода молока [3].

Установленные в настоящее время нормы кормления животных определяют достаточно ограниченный круг кормовых культур, которые применяются на сегодняшний момент при откорме производящих молоко животных [4]. Оценочной базой для определения необходимости и остаточности кормов, поступающих в организм животных, является его пищевая ценность в перерасчете на количество сухого вещества [5].

Объем обеспеченности животноводческих хозяйств кормами зависит напрямую от текущей урожайности кормовых культур. Продуктивность, в свою очередь, представляет собой сложный многомерный показатель, на который влияет целый набор факторов. Среди этих факторов можно выделить нормы высева на основе посевной площади [6], предпосевную подготовку и разнообразные агроклиматические факторы [7].

При этом основное управляющее воздействие может быть оказано именно на стадии посева и предпосевной подготовки семян. В этой связи актуальным является определение такого набора методов посева и предпосевной подготовки, которые выдавали бы наилучший результат выхода сухого вещества при выращивании различных кормовых культур.

Цель исследования – определить влияние посевных факторов на урожайность кормовых культур.

Задачи исследования:

- определить перечень кормовых культур, участвующих в рационе коров – производителей молока;
- провести оценку влияния управляющих воздействий (замачивание, протравливание и обработка ультразвуком) на показатель эффективности – количество сухого вещества в рационе животных;
- составить уравнения выбора наилучшего решения при сочетании определенных факторов.

## Материалы и методы исследования

Способ оценки сухого вещества для травяного корма на выпасе определяется из состава травяного покрова и средних значений поедания корма коровой.

Важнейшей группой кормов является зерновой фураж. Зерно подмешивается в корма в виде дерти, отрубей или жмыха, мякины. В зависимости от вида подачи различаются и количества сухого вещества. При этом в современных сельскохозяйственных справочниках состав сухого вещества определен с достаточной точностью в зависимости как от культуры, так и от конкретного сорта и типа корма [8].

Используя эти данные, а также данные о сортах полевых культур [9], составим табл. 1.

Таблица 1

Доли сухого вещества в натуральном в зависимости от видов и сортов кормов

Вид корма	Количество кормовых сортов	Доля сухого вещества, г/кг
Горох	31	820–880
Кукуруза	27	800–900
Просо	42	820–880
Пшеница	46	850–920
Овес	59	830–890
Сорго	24	850–910
Чумиза	17	820–880
Ячмень	53	850–900

Таким образом, ориентируясь на полученную таблицу, можно сделать расчеты потребляемого сухого вещества животными в зависимости от каждой культуры. В справочниках даны также более подробные результаты по каждой из культур, что обеспечивает возможность для полного и точного расчета питания животных.

В настоящее время для подготовки семян широко применяется замачивание и протравливание семян перед посадкой и реже – обработка ультразвуком. Предпосевная обработка семян дает возможность интенсифицировать процесс проращивания и, помимо этого, помогает в уничтожении вредных микроорганизмов. Каждый из методов предпосевной подготовки обладает своими особенностями. Например, замачивание семян является достаточно долгим по времени процессом, протравливание выполняется за счет применения специальных химикатов, для ультразвуковой обработки необходимо специальное оборудование.

Таблица 2

Коэффициенты влияния предпосевной подготовки семян на итоговую урожайность

Вид корма	З	Пр	ОУ	З, Пр	З, ОУ	Пр, ОУ	З, Пр, ОУ
Горох	1,04	1,07	1,09	1,08	1,11	1,12	1,12
Кукуруза	1,06	1,03	1,08	1,05	1,09	1,10	1,11
Просо	1,03	1,06	1,03	1,09	1,13	1,10	1,09
Пшеница	1,08	1,02	1,07	1,10	1,10	1,11	1,13
Овес	1,03	1,02	1,06	1,08	1,08	1,09	1,08
Сорго	1,01	1,07	1,02	1,07	1,06	1,09	1,07
Чумиза	1,05	1,05	1,03	1,05	1,08	1,06	1,08
Ячмень	1,04	1,06	1,05	1,06	1,07	1,07	1,08

Отметим также, что все виды и типы обработки можно применять поодиночке и в различных сочетаниях. Таким образом, может быть определено восемь различных сочетаний (включая полное отсутствие предпосевной подготовки). Оценку данной группы необходимо проводить на собранной статистике данных по применению указанных методов в ряде регионов России, а также в зарубежных странах.

Приведем таблицу влияния предпосевной подготовки на итоговую урожайность посевов (табл. 2) [10].

В таблице условные обозначения: З – замачивание, Пр – протравливание, ОУ – обработка ультразвуком. Данные для семян без подготовки в таблице не приведены, потому как в данном отображении их коэффициент равен единице. Погрешность полученных коэффициентов составляет  $\pm 0,004$ .

Полученные данные позволяют напрямую оценивать влияние на урожайность конкретного метода предпосевной подготовки, а также их всевозможных сочетаний. Необходимо отметить, что не всегда большее количество обработки дает большую эффективность.

Отметим, что в посевном процессе существуют различные сроки сева, нормы высева, оказывающие заметное влияние на собираемый урожай [11]. Сроки разнятся для разных климатических зон и, разумеется, самих культур и для упрощения оценки в практике сельского хозяйства используются такие градации, как «ранний срок», «средний срок» и «поздний срок», то есть всего три варианта. Норм высева в современной практике используется 7 (от 2 до 5 млн/га, с шагом 0,5 млн/га).

Также существенные различия дают типы сеялок на получение урожайности различных культур [12]. В настоящее время в нашей стране применяется четыре типа

принципиально различающихся сеялок, воздействие которых на урожайность также необходимо учитывать.

Очевидно, что ни сроки сева, ни нормы высева, ни типы сеялок не могут применяться в сочетании, что заметно снижает количество вариантов для последующего оценивания.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Как уже говорилось выше, все факторы, связанные с посевом и технологией обработки, могут быть объединены в одну большую группу, поскольку обладают рядом общих черт. На каждый из этих факторов можно оказывать прямое управляющее воздействие. Кроме того, все факторы дискретны, что существенно упрощает оценку их влияния.

Учитывая как количество факторов, так и количество их вариантов, получаем

$$Sp = sp_1 \cdot sp_2 \cdot sp_3 \cdot sp_4 = 8 \cdot 3 \cdot 7 \cdot 4 = 672.$$

где  $sp_1$  – предпосевная подготовка;

$sp_2$  – сроки сева;

$sp_3$  – нормы высева;

$sp_4$  – типы сеялок.

Таким образом получаем 672 варианта посева для каждой культуры каждого сорта.

Полученное значение сочетания вариантов достаточно велико. Однако для каждого из сочетаний факторов более 50 лет в различных регионах собираются статистические данные о применении тех или иных технологий выращивания.

Анализ статистических данных за более чем 50 лет не дает однозначного набора показателей, которые могли бы обеспечить максимальную эффективность. Это происходит потому, что каждый следующий год имеет какие-либо отличия от предыдущего.

Кроме того, невозможно оказывать условно управляющее воздействие, руководствуясь только лишь полным набором факторов, поскольку существуют и известные ограничения. Например, у определенного хозяйства может быть только один конкретный тип сеялки, заменить которую невозможно. В этом случае подбирать остальные показатели придется с учетом неизменности данного фактора.

Срок сева также может быть изменен под внешним влиянием: например, из-за затянувшихся холодов раннее засевание не могло быть осуществлено, в результате чего срок сдвигается. Данные обстоятельства должны быть учтены при формировании алгоритмов решений.

Перечисленные выше особенности оценки предпосевной подготовки и факторов посева не позволяют получить однозначное оптимальное решение по выбору такого набора показателей, который бы максимально полно удовлетворял всем необходимым условиям. Тем не менее рассмотрение каждого из указанных вариантов является весьма трудоемким процессом. Для оптимизации расчетов необходимо снизить количество вариантов, для чего предложено использовать квадрат Юдена (табл. 3). Он представляет собой усложненный латинский квадрат, грани которого характеризуют изучаемые показатели, а на пересечениях осуществляется подбор сочетаний факторов случайным образом и построении регрессионных

уравнений на основании дисперсионного анализа.

Подбор сочетаний факторов выполняется таким образом, чтобы каждое сочетание повторялось как можно меньшее количество раз. Поэтому и в строках, и в столбцах, и в сочетаниях «фактор/фактор» совпадения либо нет, либо они сведены к минимуму. Подбор сочетаний факторов приведен в матрице, представленной в табл. 3.

Конкретные значения факторов рассчитываются для каждой культуры отдельно. Квадрат Юдена дает возможность, не перебирая все выявленные 672 варианта для каждой из культур, сопоставить различные управляющие факторы, определить их влияние на урожайность. Среди культур определению степени влияния подвергались все, количество сортов же выбиралось из расчета не менее 10–15% от общего количества сортов данной культуры.

В итоге получена сводная база данных, определяющая коэффициенты, влияющие на каждую из культур и на каждый из сортов растений, выращиваемых в кормовых целях. Для их применения реализуются многофакторные мультипликативные модели, как правило, регрессионной природы.

Полученные результаты расчетов дают возможность составить уравнения с учетом предпосевной подготовки и процесса посева (табл. 4).

В таблице условные обозначения:  $x_1$  – сроки сева,  $x_2$  – нормы высева,  $x_3$  – предпосевная подготовка,  $x_4$  – тип сеялки.

Таблица 3

Матрица сочетаний факторов посева методом квадрата Юдена

		Сроки сева		
		Ранний	Средний	Поздний
Нормы высева	2 млн/га	Без подготовки / Рядовая	Протравливание+ Замачивание + Ультразвук / Квадратная	Протравливание / Однозерновая
	2,5 млн/га	Протравливание / Квадратная	Протравливание+ Ультразвук / Гнездовая	Ультразвук / Рядовая
	3 млн/га	Замачивание / Гнездовая	Без подготовки / Однозерновая	Протравливание+ Замачивание / Квадратная
	3,5 млн/га	Ультразвук / Однозерновая	Замачивание / Рядовая	Протравливание+ Ультразвук / Гнездовая
	4 млн/га	Протравливание + Замачивание / Рядовая	Протравливание / Гнездовая	Замачивание / Однозерновая
	4,5 млн/га	Протравливание + Ультразвук / Квадратная	Замачивание + Ультразвук / Однозерновая	Без подготовки / Гнездовая
	5 млн/га	Замачивание + Ультразвук / Гнездовая	Ультразвук / Квадратная	Протравливание + Замачивание + Ультразвук / Рядовая

Таблица 4

Регрессионные уравнения зависимости урожайности от посевных факторов

Вид корма	Регрессионное уравнение
Горох	$y = 85,91 + 15,77x_1 - 12,33x_2 - 10,11x_3 - 1,63x_4$
Кукуруза	$y = 84,36 + 17,82x_1 - 12,77x_2 - 10,6x_3 - 1,1x_4$
Просо	$y = 102,4 + 11,21x_1 - 10,57x_2 - 16,37x_3 - 1,41x_4$
Пшеница	$y = 79,55 + 19,63x_1 - 13,85x_2 - 16,74x_3 - 2,13x_4$
Овес	$y = 92,92 + 21,54x_1 - 15,22x_2 - 15,23x_3 - 2,34x_4$
Сорго	$y = 96,28 + 16,83x_1 - 11,39x_2 - 18,44x_3 - 3,07x_4$
Чумиза	$y = 89,31 + 14,51x_1 - 18,42x_2 - 21,97x_3 - 1,12x_4$
Ячмень	$y = 83,71 + 17,12x_1 - 13,67x_2 - 12,54x_3 - 2,36x_4$

### Заключение

Таким образом, в результате выполненной работы определены показатели, обязательные к включению в базу данных. На основе квадрата Юдена существенно снижено количество конкретных опытов для получения показателей, определяющих влияние управляющих воздействий на итоговую урожайность. Проведенные эксперименты позволили получить конкретные данные о влиянии внешних факторов и управляющих воздействий и разработать систему коэффициентов, применение которых дает достаточно точные оценки урожайности в зависимости от тех или иных параметров.

### Список литературы

1. Шахназарян Г.Э. Молочное скотоводство России: проблемы, пути их преодоления // Региональная экономика: теория и практика. 2018. Т. 16. № 7. С. 1303–1319.
2. Тихомиров И.А., Скоркин В.К. Повышение эффективности использования кормовых ресурсов в системе технологической модернизации молочного скотоводства // Вестник ВНИИМЖ. 2018. № 1 (29). С. 66–73.
3. Faye B. Food Security and the Role of Local Communities in Non-cow Milk Production. Non-Bovine Milk and Milk Products, 2016. P. 1–13.
4. Болодурина И.П., Соловьев С.А., Акимов С.С. Разработка системы поддержки принятия решений для повышения продуктивности молочного животноводства // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2020. Т. 20. № 2. С. 36–44.
5. Sandakova G.N., Besaliev I.N., Panfilov A.L. [et al.] Influence of agrometeorological factors on wheat yields. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019 (Kurgan, April 18–19<sup>th</sup>, 2019). Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019.
6. Михайленко И.М., Тимошин В.Н. Оптимизация норм высева семян сельскохозяйственных культур // Агрофизика. 2017. № 4. С. 58–67.
7. Анищенко А.Н. О направлениях активизации инновационных процессов в молочном скотоводстве региона // Проблемы развития территории. 2017. № 2 (88). С. 192–206.
8. Петрухин И.В. Корма и кормовые добавки: справочник. М.: Росагропромиздат, 1989. 176 с.
9. Сорты полевых культур: справочник / сост. А.С. Богатырева, М.В. Серегин, А.А. Скрыбин, А.Н. Чиркова; под ред. С.Л. Елисеева; М-во с.-х. РФ, федеральное гос. бюджетное образов. учреждение высшего образов. «Пермский гос. аграрно-технолог. ун-т. им. акад. Д.Н. Прянишникова», каф. растениеводства. 6-е изд., перераб. и доп. Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2018. 151 с.
10. Акимов С.С., Болодурина И.П. Построение СППР на основе онтологии молочного производства // Онтология проектирования. 2021. Т. 11. № 1 (39). С. 64–75.
11. Sandakova G.N., Besaliev I.N., Panfilov A.L., Akimov S.S. Cumulative indicator of quality of grain for strong wheat for conditions of strongly continental climate. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: The proceedings of the conference AgroCON-2019 (Kurgan, April 18–19<sup>th</sup>, 2019). Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. P. 012098.
12. Хронюк Е.В., Ерешко А.С., Хронюк В.Б., Кувшинова Е.К., Несмиян А.Ю. Оценка влияния систем распределения и дозирования семян селекционных сеялок на урожайность озимого ячменя // Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 2 (46). С. 63–68.