УДК 631.353

DOI: 10.31279/2222-9345-2018-7-32-26-31

А. В. Орлянский, С. Н. Капов, И. А. Орлянская, Г. Г. Шматко, В. А. Лиханос

Orlyansky A. V., Kapov S. N., Orlyanskaya I. A., Shmatko G. G., Likhanos V. A.

СТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ЗАГОТОВКИ СЕНАЖА В РУЛОНАХ

STRUCTURAL-TECHNOLOGICAL ANALYSIS OF THE PROCESS HARVESTING OF HAYLAGE IN ROLLS

Качество и себестоимость заготавливаемых кормов во многом определяется используемой технологией, рациональным выбором технологической схемы заготовки и соответствующим набором применяемых кормоуборочных машин и агрегатов. Целью поэтапной оптимизации технологии заготовки сенажа в рулонах для конкретных условий производства является рациональный выбор технологической схемы процесса заготовки сенажа с использованием перспективных высокопроизводительных комплексов кормоуборочных и транспортных машин. При этом необходимо учитывать цену и качество получаемого сенажа и обеспечить минимальные удельные затраты материальных и энергетических ресурсов на производство корма в реальных условиях предприятий. Для решения подобных задач эффективным является графоаналитический или топологический метод определения и оценки показателей, который основывается на использовании структурной и операторной схемы представления технологии заготовки сенажа в рулонах. Такой подход позволяет: установить факторы, оказывающие влияние на технологический процесс; наглядно представить взаимодействия изучаемых процессов, явлений и факторов; определить значимость выполняемых технологических операций; разработать модель поэтапной оптимизации и на ее основе обосновать оптимальную структуру технологического процесса заготовки сенажа в рулонах, оценить затраты на производство сенажа и потери корма.

Ключевые слова: технологический процесс, заготовка сенажа в рулонах, структурно-технологическая схема, модель поэтапной оптимизации, затраты, потери корма.

The quality and cost of harvested fodder is largely determined by the technology used, the rational choice of the technological scheme of the workpiece and the corresponding set of used harvesting machines and units. The purpose of the step-by-step optimization of the technology of harvesting haylage in rolls for specific production conditions is a rational choice of the technological scheme of the process of harvesting haylage using advanced high-performance complexes of forage and transport machines. At the same time, it is necessary to take into account the price and quality of the obtained pressing and ensure the minimum unit costs of material and energy resources for the production of feed in real conditions of enterprises. To solve such problems, the grapho-analytical or topological method for determining and evaluating indicators, which is based on the use of a structural and operator scheme for presenting the technology of haylage production in rolls, is effective. Such an approach allows: to establish the factors that influence the technological process; visualize the interaction of the studied processes, phenomena and factors; to determine the significance of the technological operations performed; to develop a model of step-by-step optimization and on its basis to justify the optimal structure of the technological process of harvesting haylage in rolls, to estimate the cost of haylage production and feed loss.

Key words: technological process, harvesting of haylage in rolls, structural-technological scheme, model of step-by-step optimization, costs, feed loss.

Орлянский Александр Викторович –

кандидат технических наук,
профессор кафедры механики
и компьютерной графики
ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный
аграрный университет»
г. Ставрополь
Тел.: 8-962-442-20-92
E-mail: avorl@mail.ru

Капов Султан Нануович –

доктор технических наук, профессор кафедры
механики и компьютерной графики
ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный
аграрный университет»
г. Ставрополь
Тел.: 8-988-751-17-61
E-mail: Capov-sn57@mail.ru

Орлянская Ирина Александровна –

кандидат технических наук, старший преподаватель
кафедры механики и компьютерной графики
ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный
аграрный университет»
г. Ставрополь
Тел.: 8-962-455-90-30
E-mail: IAOW@mail.ru

Orlyansky Alexander Viktorovich –

Ph.D of Technical Sciences, Professor
of the Department of Mechanics
and Computer Graphics
FSBEI HE «Stavropol State Agrarian University»
Stavropol
Tel.: 8-962-442-20-92
E-mail: avorl@mail.ru

Kapov Sultan Nanuovich –

Doctor of Technical Sciences, Professor
of the Department of Mechanics
and Computer Graphics
FSBEI HE «Stavropol State Agrarian University»
Stavropol
Tel.: 8-988-751-17-61
E-mail: Capov-sn57@mail.ru

Orlyanskaya Irina Aleksandrovna –

Ph.D of Technical Sciences,
Senior Lecturer of the Department of Mechanics
and Computer Graphics
FSBEI HE «Stavropol State Agrarian University»
Stavropol
Tel.: 8-962-455-90-30
E-mail: IAOW@mail.ru

Шматко Геннадий Геннадиевич –
кандидат технических наук, доцент кафедры
процессов и машин в агробизнесе
ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный
аграрный университет»
г. Ставрополь
Тел.: 8-918-741-91-69
E-mail: gshmatko@yandex.ru

Лиханос Виктор Анатольевич –
старший преподаватель кафедры механики
и компьютерной графики
ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный
аграрный университет»
г. Ставрополь
Тел.: 8-905-497-14-03
E-mail: llenaa@rambler.ru

Shmatko Gennady Gennadievich –
Ph.D of Technical Sciences, Associate Professor
of the Department of Processes and Machines
in Agribusiness
FSBEI HE «Stavropol State Agrarian University»
Stavropol
Tel.: 8-918-741-91-69
E-mail: gshmatko@yandex.ru

Likhanos Viktor Anatolievich –
Senior Lecturer of the Department of Mechanics
and Computer Graphics
FSBEI HE «Stavropol State Agrarian University»
Stavropol
Tel.: 8-905-497-14-03;
E-mail: llenaa@rambler.ru

Одной из наиболее эффективных технологий производства стебельчатых кормов является технология заготовки сенажа в рулонах, упакованных в полимерную пленку. Основными достоинствами этой технологии являются возможность равномерного проявлявания всех частей растений, сокращение периода пребывания травяной массы в поле, высокая степень уплотнения массы в рулонах, качественная герметизация корма с сохранением сухого вещества и каротина [1, 2, 3]. Реализация потенциальных возможностей технологии заготовки сенажа в рулонах возможна при выборе рациональной структуры технологического процесса и соответствующего эффективного комплекса кормоуборочных машин и агрегатов.

Структура процесса заготовки сенажа в рулонах, упакованных в пленку, может включать различные комбинации технологических операций скашивания, сгребания, ворошения, подбора, прессования, транспортировки, упаковки рулонов и укладки их на хранение. Совокупность выполняемых технологических операций в процессе кормозаготовки имеет как общий характер, так и частную специфику, присущие региональным условиям. Кроме того, при выборе рационального технико-технологического варианта необходимо учитывать как производственные и климатические условия, так и вероятностную природу процесса заготовки сенажа и динамику изменения свойств травяной массы за период кормозаготовки [1].

В этой связи возникает необходимость провести структурно-технологический анализ процесса заготовки сенажа в рулонах, выявить основные действующие факторы на всех этапах кормозаготовки и сформулировать задачу поэтапной оптимизации.

В общем случае задачи рационального выбора и обоснования технологической схемы кормозаготовки с использованием перспективных уборочных комплексов целесообразно решать на основе поэтапной оптимизации технологии заготовки сенажа в рулонах с учетом условий проведения уборочных операций [4, 5]. Для решения подобных задач эффек-

тивным средством является графоаналитический или топологический метод, базирующийся на использовании структурно-операторной формы представления всех этапов исследуемой технологии [6]. Такой подход позволяет наглядно представить взаимодействия изучаемых процессов и явлений, установить взаимосвязи и значимости действующих факторов и перейти к возможности составления оптимизационной модели для последующей реализации [7, 8]. При этом критерием оценки технологии заготовки сенажа могут выступать такие показатели, как цена и качество получаемого сенажа и минимальные удельные затраты материальных и энергетических ресурсов на производство продукции.

Во всей цепочке технологии заготовки кормов главную роль играют обоснованный набор и последовательность выполнения технологических операций, эффективные приемы воздействия рабочих органов машин на обрабатываемый материал (травостой и скошенную травяную массу).

В хозяйствах России используются различные варианты технологии заготовки сенажа в рулонах [1]. Проведенный анализ показывает, что любой из этих вариантов осуществляется последовательным выполнением пяти основных этапов (рис. 1). Объектом каждого этапа кормозаготовки является травяная масса, состояние и свойства которой изменяются от этапа к этапу ($S_{и}$, $S_{с}$, $S_{р}$, $S_{п}$, $S_{т}$, $S_{х}$) при различном наборе технологических операций, начиная от скашивания трав до упаковки рулонов и укладки их на хранение. Причем выполнение технологических операций каждого этапа сопровождается переводом свойств травяной массы из исходного состояния в требуемое, согласно предъявляемым агротехническим требованиям. При этом критериями оценки каждого этапа могут выступать эксплуатационно-технологические $ЭТ_i$, агротехнологические $АТ_i$ и экономические $Э_i$ показатели работы кормоуборочных машин и агрегатов [9].

На каждом этапе выполняются технологические операции, направленные на изменение свойств обрабатываемого материала в соответствии с агротехническими требованиями.

С позиции оценки и формирования качественных показателей, необходимо провести структурный анализ всех операций технологии заготовки сенажа с учетом используемых технических средств [1, 2, 3].

При этом определяющим показателем является качество перевода травяной массы из исходного состояния в требуемое, которое определяется на каждом этапе соответствием предъявляемым агротехническим требованиям, прежде всего к влажности массы. Важно отметить, что текущее состояние свойств обрабатываемого материала на данном этапе зависит от состояния материала на предыдущем этапе и принятых на текущем этапе воздействий (управлений).

Тогда общая постановка задачи поэтапной оптимизации технологии заготовки сенажа в рулонах может быть сформулирована следующим образом: определить комплекс допустимых управлений X_i (набор операций, выбор агрегатов, режимов их работы и т. д.), позволяющий изменять свойства растения S из состояния начального S_H в конечное S_K , при котором достигается необходимый эффект, причем текущее состояние растения S_i в конце каждого i -го этапа зависит от предыдущего состояния S_{i-1} и параметра управления X_i [9].

С учетом этого требования запишем уравнение состояния

$$S_i = \beta_i(S_{i-1}, X_i), \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad (1)$$

где k – количество этапов (операций) в структуре технологического процесса.

Подобную задачу целесообразно реализовать с помощью оптимизационных методов, используя целевую функцию

$$Z_i = f_i(S_{i-1}, X_i). \quad (2)$$

Учитывая, что рассматриваемая задача является многоэтапной,

$$Z = \sum_{i=1}^k f_i(S_{i-1}, X_i). \quad (3)$$

Анализ уравнения (3) позволяет сделать следующие выводы:

- оптимизационная задача рассматривается как многоэтапный процесс;
- значение целевой функции складывается из суммы функций каждого этапа;
- текущее состояние S_i каждого этапа определяется предыдущим состоянием S_{i-1} и параметрами управления X_i ;
- каждый этап управления X_i зависит от конечного числа управляющих переменных и определяется результатом выполнения технологических операций на данном этапе и состоянием S_{i-1} .

Необходимый эффект на каждом i -том этапе достигается при условии, что к началу последнего этапа система была в состоянии S_{i-1} , а на последнем этапе S_i управление было опти-

Рисунок 1 – Структурно-технологическая схема процесса заготовки сенажа в рулонах:

$\mathcal{E}T_i$ – эксплуатационно-технологические показатели работы машин и агрегатов; AT_i – агротехнологические показатели работы машин и агрегатов; $\mathcal{E}_i$ – экономические показатели; S_H – исходное состояние травяной массы; S_C , S_P , $S_П$, S_T , S_X – текущие состояния зеленой массы соответственно после скашивания, разбрасывания (сгребания), прессования, транспортировки и обмотки рулонов с последующей укладкой их на хранение

мальным и имело экстремальное (минимум или максимум) значение:

$$Z(X_I) = \underset{\{X_I\}}{\text{extr}} f_I(S_{I-1}, X_I). \quad (4)$$

Сформулированная таким образом задача и полученная целевая функция (4) показывают, что процесс заготовки сенажа в рулонах может быть реализован по разным технологическим вариантам с различным набором технологических операций, начиная от скашивания трав до упаковки рулонов и укладки их на хранение. Для проведения структурно-технологического анализа процесса рассмотрим различные варианты, составленные из возможных комбинаций составляющих кормоуборочный процесс операций (рис. 2).

На первом этапе технологии выполняется комплекс воздействий на травостой рабочих органов, осуществляющих срез растений, нарушение целостности стеблей и укладку скошенной массы в прокос или валок. При этом важным элементом является исходное состояние травостоя, которое характеризуется убираемой культурой, фазой ее развития, урожайностью и влажностью трав. В различных применяемых технологиях заготовки сенажа в рулоны предусматриваются операции скашивания в прокос без плющения (Сп), с плющением (Сп^{Пл}) или кондиционированием (Сп^{Кн}), а также скашивание в валок без плющения (Св), с плющением (Св^{Пл}) или кондиционированием (Св^{Кн}). На первом этапе закладываются условия снижения биохимических потерь корма за счет сокращения продолжительности проявлявания скошенной травы. Это достигается применением плющения и кондиционирования растений, формирования валка с минимальной плотностью или прокоса.

На втором этапе выполняются различные технологические операции по формированию валка и управлению процессом проявлявания скошенных трав для достижения необходимых технологических свойств, исходя из агротехнических требований.

Для ускоренного проявлявания скошенной травяной массы и создания условий для производительной работы пресс-подборщиков проводят граблями и вспушивателями различные операции: разбрасывание (ворошение) (Рб^{Вл}), оборачивание (Об^{Вл}), сгребание (Сг^{Вл}) и, при необходимости, сдвигание валков (Сд^{Вл}). Выполнение конкретных технологических операций зависит от природно-климатических условий и состояния травяной массы.

Третий этап, связанный с подбором и прессованием проявленной травы из валков (ПП^{Рл}), начинают при содержании влаги около 55 %, с тем, чтобы при прессовании рулонов влажность находилась в интервале 45...55 %. Данный этап предусматривает вытеснение воздуха из кормового массива и формирование рулона с плотностью более 350...400 кг/м³. Кроме того, согласно агротехническим требованиям, необходимо обеспечить правильные размеры и геометрическую форму рулона [7].

После прессования следует четвертый этап: погрузка и транспортировка рулонов с поля (ПТ^{Рл}). Обоснованный подбор качественного и количественного состава погрузочно-транспортного звена должен обеспечить своевременную доставку рулонов сенажа с поля к месту хранения. Это необходимо, чтобы исключить перегрев спрессованной травяной массы в рулоне и не допустить развития нежелательных биохимических и микробиологических процессов. Кроме того, важно, чтобы погрузка и разгрузка рулонов происходила аккуратно, без нарушения их геометрической формы и размеров.

Рисунок 2 – Структурно-функциональная схема технологических вариантов процесса заготовки сенажа в рулонах:

Т – травостой; Сп – скашивание в прокос; Сп^{Пл} – скашивание в прокос с плющением; Сп^{Кн} – скашивание в прокос с кондиционированием; Св – скашивание в валок; Св^{Пл} – скашивание в валок с плющением; Св^{Кн} – скашивание в валок с кондиционированием; Рб^{Вл} – разбрасывание валков; Сг^{Вл} – сгребание массы в валок; Об^{Вл} – оборачивание валков; Сд^{Вл} – сдвигание валков; ПП^{Рл} – подбор и прессование в рулон; ПТ^{Рл} – погрузка и транспортировка рулонов с поля; УХ^{Рл} – упаковка и хранение рулонов; Ои^{Рл} – обмотка рулонов индивидуальная; Ог^{Рл} – обмотка рулонов групповая (рядовая); Урк^{Рл} – укладка рулонов в полиэтиленовый рукав

На пятом этапе ($УХ^{Пл}$) доставленные к месту складирования рулоны упаковываются в самоклеющуюся пленку и на ровной открытой площадке или в хранилище укладываются на хранение в двух-, трёхслойный штабель. Хранение рулонов является ответственным этапом. Хотя упакованный рулон не требует специальных условий, целесообразно хранить его в вертикальном положении с целью лучшей защиты торцовых поверхностей рулона. Главная задача пятого этапа – герметизация корма и сохранение энергетической ценности и питательных веществ сенажа в упаковке.

В настоящее время наряду с индивидуальной обмоткой рулонов сенажа широко используется рядовая упаковка их в полиэтиленовую пленку – групповая обмотка рулонов полимерной плёнкой или укладка рулонов в полимерный рукав. За счет сокращения расходного материала и повышенной производительности используемых машин, осуществляющих групповую обмотку, эта технология имеет большие перспективы [1].

Подводя итог, отметим, что эффективную и качественную заготовку сенажа в рулонах можно организовать только при правильном выборе технологических операций и рациональном подборе состава машин и агрегатов на каждом этапе. Вопросы адаптации технологии и технических средств к конкретным производственным условиям определяются многими факторами, и в первую очередь убиранием культурой, типом имеющихся в наличии кормоуборочных машин, объемами заготовки корма, расстояниями транспортировки сенажа, природно-климатическими условиями и т. д.

Таким образом, для оценки составляющих целевой функции (4) и определения значимости каждой операции на этапах выполнения технологического процесса, а также по всей технологии заготовки сенажа в рулонах целесообразно определить затраты, приходящиеся на выполнение технологической операции как на отдельном этапе, так и в целом по всей технологии.

С учетом этого можно предложить модель поэтапной оптимизации кормоуборочного процесса, включающую целевую функцию, систему ограничений, объем работ и агротехнические сроки их выполнения, а также условия неотрицательности переменных.

Целевая функция:

$$Z(X) = \sum_{l=1}^k \sum_{j=1}^{N_{ai}} C_{lj} \cdot X_{lj} \rightarrow \min. \quad (5)$$

Применительно к рассматриваемой технологии (при количестве операций $k=5$) имеем

$$Z(X) = \sum_{l=1}^5 \sum_{j=1}^{N_{ai}} C_{lj} \cdot X_{lj} \rightarrow \min, \quad (6)$$

или в развернутом виде:

$$Z(X) = \sum_{j=1}^{N_{a1}} C_{1j} \cdot X_{1j} + \sum_{j=1}^{N_{a2}} C_{2j} \cdot X_{2j} + \sum_{j=1}^{N_{a3}} C_{3j} \cdot X_{3j} + \sum_{j=1}^{N_{a4}} C_{4j} \cdot X_{4j} + \sum_{j=1}^{N_{a5}} C_{5j} \cdot X_{5j} \rightarrow \min, \quad (7)$$

где $l = 1, 2, \dots, 5$ – число технологических этапов (операций);
 $j = 1, 2, \dots, N_{ai}$ – число агрегатов, занятых на выполнении технологических операций на l -том этапе;
 C_{lj} – совокупные затраты на выполнение l -той технологической операции j -тым агрегатом, руб/га;
 X_{lj} – количество j -тых агрегатов на l -том этапе.

Система ограничений, накладываемых на модель:

$$\sum_{l=1}^k \sum_{j=1}^{N_{ai}} a_{lj} \cdot X_{lj} \cdot T_{cm} \geq b_{lj}, \quad (8)$$

где a_{lj} – производительность j -того агрегата на l -той операции, га/ч;
 T_{cm} – продолжительность смены, ч;
 b_{lj} – требуемая сменная выработка всех N_{ai} агрегатов на l -й операции, га.

Здесь $b_{lj} = \frac{V_{lj}}{t_{lj}}$,

где V_{lj} – общий объем работ по каждой технологической операции, га;
 t_{lj} – агротехнические сроки выполнения каждой операции, дней.

Условие неотрицательности переменных:

$$X_{lj} \geq 0.$$

Таким образом, на основе проведенного структурно-технологического анализа показано, что оценка эффективности и оптимизации технологического процесса заготовки сенажа в рулонах, упакованных в пленку, является многоэтапной задачей, при решении которой необходимо:

- установить показатели (факторы), оказывающие влияние на технологический процесс;
- определить значимость выполняемых операций, как на отдельных этапах технологического процесса, так и по всей технологии;
- оценить затраты на производство сенажа и потери корма для сравниваемых технологических вариантов;
- оптимизировать структуру технологического процесса заготовки сенажа в рулонах, качественный и количественный состав комплекса машин.

Поэтапная оптимизация технологии, начиная с момента скашивания трав до укладки рулонов на хранение с соблюдением всех предъявляемых агротехнических требований, является основой для снижения совокупных затрат на заготовку качественного сенажа в рулонах.

Литература

1. Трухачев В. И., Орлянский А. В., Орлянская И. А. Обоснование рациональных параметров процесса заготовки сенажа в рулонах с использованием имитационного моделирования : монография. Ставрополь: АГРУС, 2018. 176 с.
2. Бубенщиков Е. П., Гуляев В. М. Сенаж в упаковке – технология вашего успеха: руководство по технологии. Пермь : Крестьянский дом, 2010. 60 с.
3. Серёгин М. В. Сенаж в упаковке – качество основного корма // Сельскохозяйственные вести. 2015. № 3. С. 46–49.
4. Советов Б. Е., Яковлев С. А. Моделирование систем. М. : Высшая школа, 2001. 343 с.
5. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. Классика CS. СПб. : Питер, 2004. 847 с.
6. Орлянская И. А. Общая имитационная модель процесса заготовки сенажа в пленочной упаковке // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 1. С. 16–18.
7. Орлянский А. В. Подходы к моделированию технологических операций кормоуборочного процесса // Вестник АПК Ставрополя. 2016. № 2 (22). С. 24–27.
8. Капов С. Н., Шепелёв С. Д. Структурный анализ технологии уборки зерновых культур // Вестник ЧГАУ. Челябинск, 2010. Т. 57. С. 98–102.
9. Analysis of the structure the technological process of harvesting haylage in rolls, packed in film / S. N. Kapov, A. V. Orlyansky, I. A. Orlyanskaya, A. A. Kojukhov, V. A. Bogomyagkih // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences Journal. 2018. № 9 (6). P. 1779–1788.

References

1. Trukhachev V. I., Orlyansky A. V., Orlyanskaya I. A. Justification of rational parameters of the process of harvesting haylage in rolls, using simulation : monograph. Stavropol : AGRUS, 2018. 176 p.
2. Bubenshchikov E. P., Gulyaev V. M. Haylage in the package is the technology of your success: a guide to technology. Perm : publishing Peasant House, 2010. 60 p.
3. Seregin M. V. Haylage in the package – the quality of the main feed // Agricultural news. 2015. № 3. P. 46–49.
4. Sovetov B. E., Yakovlev S. A. Modeling systems. M. : publishing High School, 2001. 343 p.
5. Kelton V., Loy A. Simulation modeling. publishing Classic CS. SPb. : Peter, 2004. 847 p.
6. Orlyanskaya I. A. General simulation model of the process of harvesting haylage in film packaging // Mechanization and electrification of agriculture. 2010. № 1. P. 16–18.
7. Orlyansky A. V. Approaches to the modeling of technological operations of the fodder process // Agricultural Bulletin of Stavropol Region. 2016. № 2 (22). P. 24–27.
8. Kapov S. N., Shepelev S. D. Structural analysis of the technology of harvesting grain crops // Bulletin ChSAU. Chelyabinsk, 2010. № 57. P. 98–102.
9. Analysis of the structure the technological process of harvesting haylage in rolls, packed in film / S. N. Kapov, A. V. Orlyansky, I. A. Orlyanskaya, A. A. Kojukhov, V. A. Bogomyagkih // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences Journal. 2018. № 9 (6). P. 1779–1788.