УДК 631.532.2+631.331.072.3

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОДКАПЫВАЮЩЕГО ЛЕМЕХА ДЛЯ УБОРКИ ЛУКА

Сибирёв А.В., ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»;
Аксенов А. Г., ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

Качественная работа лукоуборочных машин как при двухфазном, так и при однофазном способах уборки обеспечивается удовлетворительной подготовкой поля перед уборкой. Даже незначительное содержание растительных примесей (свободная ботва, сорняки) 2…4 % (по агротехническим требованиям – до 5 %) делает ворох непригодным ни для реализации, ни для хранения. Качество выполнения технологического процесса работы машины для уборки лука определяется работой выкапывающего рабочего органа, так как в зависимости от типа и технологических параметров данного рабочего органа зависят конструктивно-технологические параметры сепарирующих устройств. Представлена конструкция выкапывающего лемеха для уборки корнеплодов и лука машины для уборки лука. Предложенный выкапывающий лемех для уборки корнеплодов и лука за счет предварительной сепарации лука от почвенных комков, соизмеримых по размерам с луковицами повышает качественные показатели работы сепарирующих органов уборочной машины, в результате снижения поступления почвенных комков на сепарирующие органы. Представлены результаты исследований выкапывающего лемеха для уборки корнеплодов и лука по определению подачи вороха лука на подкапывающий лемех в зависимости от изменения физико-механических свойств почвы и технологических параметров (глубина подкапывания и поступательная скорость движения) исследуемого рабочего органа. Описана методика и применяемое оборудование при проведении исследований. Результаты проведенных исследований представлены в виде графических зависимостей, анализ исследований проведен методом вариационной статистики.

Ключевые слова: *уборка, лук, подкапывающий лемех, результаты исследований, подача вороха.*

Для цитирования: *Сибирёв А.В., Аксенов А. Г. Результаты экспериментальных исследований подкапывающего лемеха для уборки лука // Аграрный вестник Верхневолжья. 2018. № 4 (25). С. 79-86*

Введение. Основным сдерживающим фактором большого распространения промышленного производства лука-севка является отсутствие средств механизированной уборки луковиц, отвечающих агротехническим требованиям – полноту сепарации вороха луковиц лука-севка от почвенных примесей. Кроме того, в связи с увеличением урожайности лука-севка, в результате использования в качестве семенного материала высокоурожайных гибридов («Геркулес F1», «Стурон», «Трой F1», «Штур БС 20», «Центурион F1», «Форум F1», «Глобус», «Золотничок»), происходят увеличения массы и количества луковиц лука-севка на одном погонном метре [1, 2, 3].

Следовательно, увеличивается подача вороха лука-севка с поверхности подкапывающих на сепарирующие рабочие органы современных лукоуборочных машин, которые не обеспечивают полноту выделения почвенных примесей при уборке лука-севка в современных

условиях производства лука-севка [4].

Цель исследований. Определение величины подачи вороха лука-севка с выкапывающего органа для уборки мелкосидящих корнеплодов и лука на сепарирующие рабочие органы машин для уборки корнеплодов и лука.

Материалы и методы. Для снижения повышенного поступления почвенных примесей на сепарирующие рабочие органы уборочных машин предлагается (патент РФ Патент № 2625179 Россия, МПК A01 D33/00) конструкция выкапывающего органа для уборки мелкосидящих корнеплодов и лука (рисунок 1) [5].

Выкапывающий лемех для уборки корнеплодов и лука, установленный на кронштейне 1, который закреплен на раме 2 болтовым соединением 3, состоит из подкапывающей 4 и транспортирующей 5 секций.

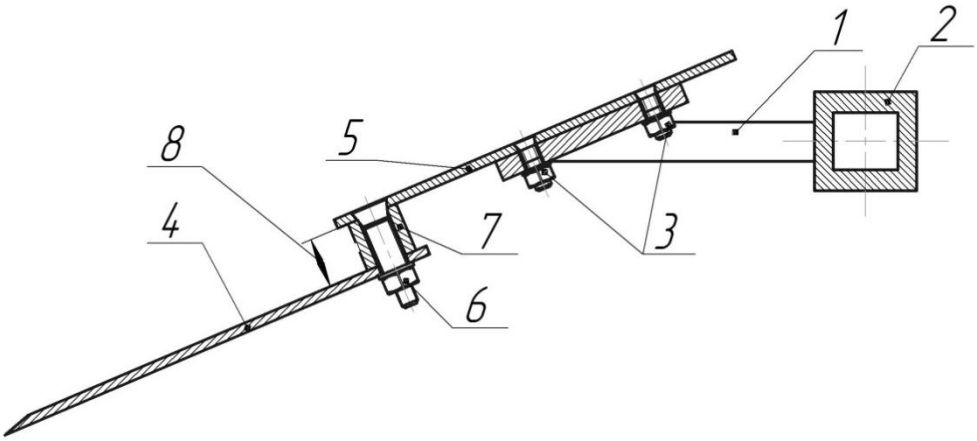


Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема выкапывающего лемеха для уборки корнеплодов и лука: 1 – кронштейн; 2 – рама; 3 – соединение болтовое; 4 – секция подкапывающая; 5 – секция транспортирующая

Подкапывающая 4 и транспортирующая 5 секции выкапывающего лемеха соединены между собой болтовым соединением 6 с проставками 7, образуя между собой технологический зазор 8, величина которого регулируется в зависимости от глубины Н погружения выкапывающего лемеха для уборки в почву.

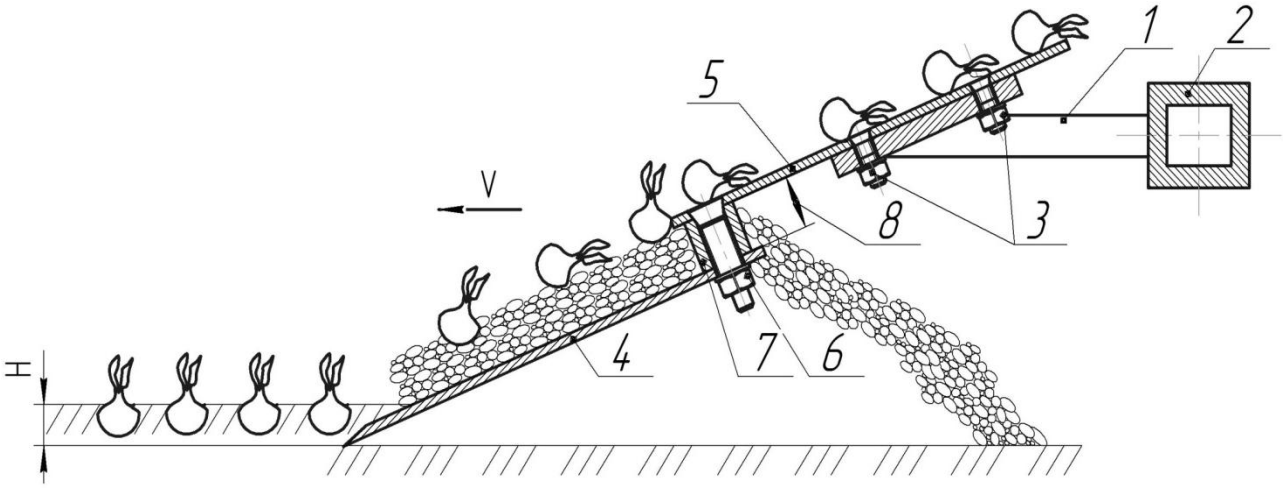


Рисунок 2 – Схема работы выкапывающего лемеха для уборки корнеплодов и лука: 1 – кронштейн; 2 – рама; 3 – соединение болтовое; 4 – секция подкапывающая; 5 – секция транспортирующая

Устройство работает следующим образом.

При поступательном движении уборочной машины в направлении V, заглубленный на небольшую глубину Н выкапывающий лемех для уборки лука подрезает пласт, состоящий из земли и луковиц.

В связи с тем, что луковицы размещены выше относительно поверхности почвы, при подрезании почвенного пласта они будут перемещаться по поверхности подкапывающей 3 секции выкапывающего лемеха для уборки лука выше, чем почвенный пласт.

При достижении почвенным пластом крайнего обреза подкапывающей 4 секции выкапывающего лемеха для уборки лука, последний сходит на поверхность поля через технологический зазор 8, образованный между подкапывающей 4 и транспортирующей 5 секциями выкапывающего лемеха для уборки лука и соединенных между собой болтовым соединением 5 с проставками 6.

Луковицы, отделенные от почвенных комков, направляются на транспортирующую 5 секцию подкапывающего лемеха для уборки лука и на дальнейшую очистку на сепарирующих рабочих органах уборочной машины.

Для исследования величины подачи вороха лука-севка с поверхности подкапывающего лемеха для уборки мелкосидящих корнеплодов и лука на сепарирующие рабочие органы лукоуборочных машин нами были проведены исследования в условиях Пензенской области в 2016-2017 годах.

Семена лука сорта «Штутгартер Ризен» высевали на опытном участке.

Предшественником для семян лука была капуста, кислотность почв pH 5,6 – 6,7.

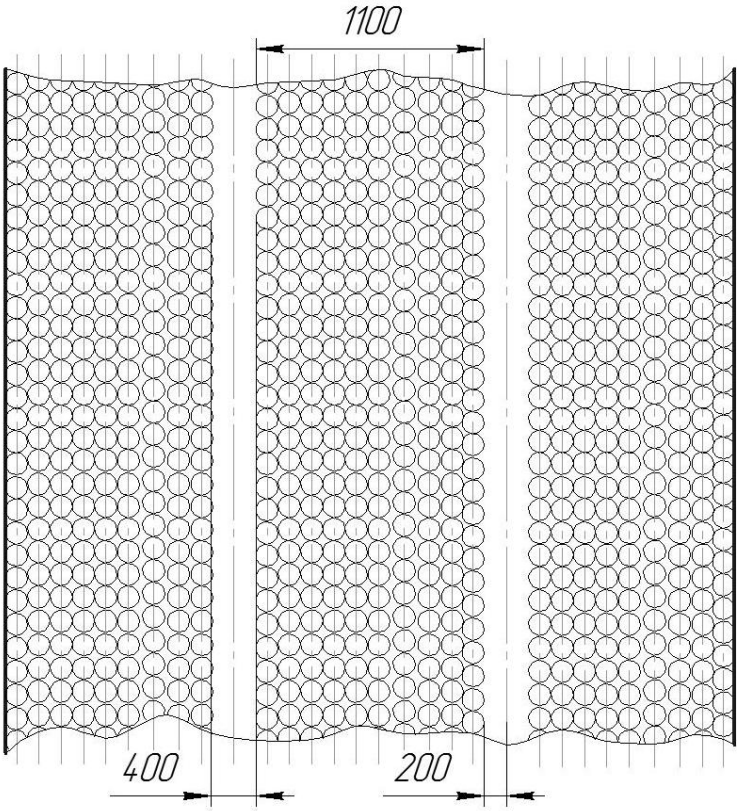


Рисунок 3 – Схема посева семян лука сорта «Штутгартер Ризен» при проведении исследований по определению величины подачи вороха лука-севка на подкапывающий лемех для уборки корнеплодов и лука

Семена лука сорта «Штутгартен Ризен» высевались по строчно-полосной схеме посева (шестистрочная 45 + 25 см), при которой стыковые междурядья и междурядья для колес трактора равны 50 см, а остальные 40 см [6, 7, 8].

Выбор данной схемы посева семян лука для

возделывания лука-севка обусловлен возможностью использования машин на уходе и уборки с колеей трактора 140 см (рисунок 3). В период вегетации проводились фенологические наблюдения и биометрические измерения.

С целью определения величины $Q_{Вп}$ подачи вороха лука-севка на подкапывающий лемех лукоуборочной машины была изготовлена лабораторная установка (рисунок 4), которая представляет собой передвижной почвенный канал, позволяющая проводить исследования качественных показателей работы подкапывающих рабочих органов на различных по физико-механическому составу почвах [4]

.

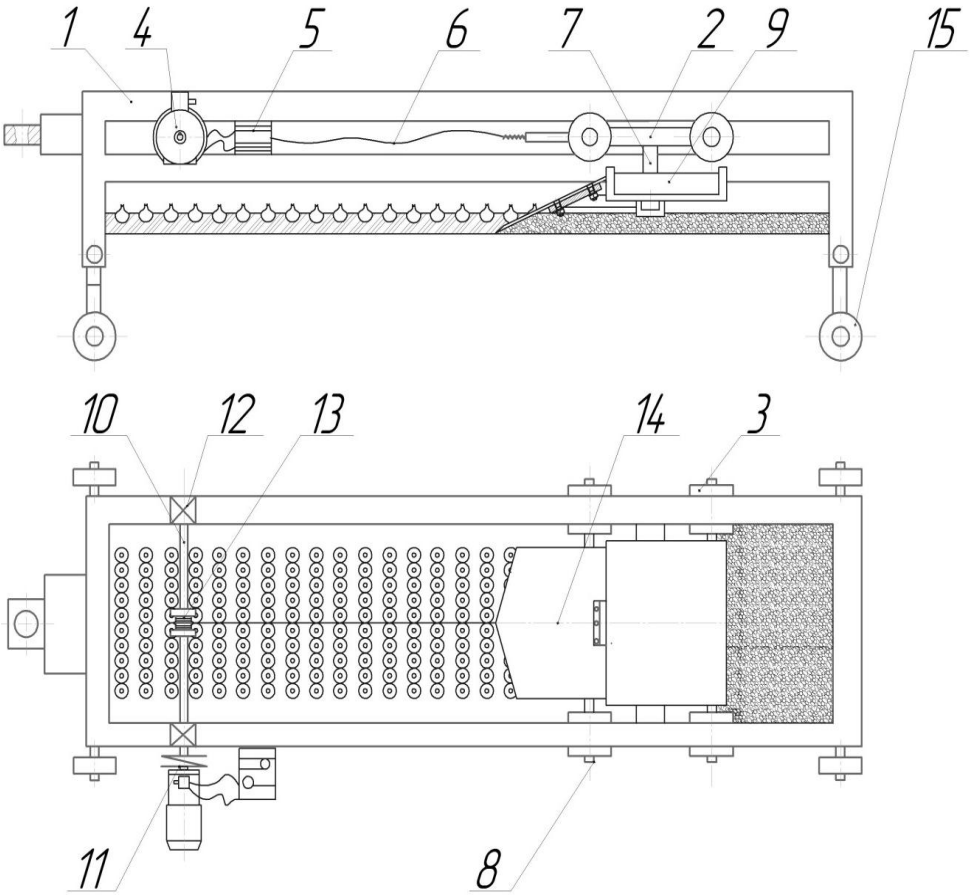


Рисунок 4 – Схема лабораторной установки по определению подачи вороха лука-севка на выкапывающий лемех для уборки корнеплодов и лука:
1 – направляющая; 2 – тележка приводная; 3 – ролик стальной; 4 – электродвигатель; 5 – преобразователь частотный; 6 – связь канатная; 7 – стойка крепежная; 8 – ось тележки; 9 – лоток сбора вороха; 10 – вал привода тележки; 11 – муфта предохранительная; 12 – подшипник; 13 – катушка с ребордами ограничительными; 14 – подкапывающий лемех; 15 – опорные колеса

Установка представляет собой сварную конструкцию, состоящую из направляющих *1*, по которым передвигается приводная тележка *2*, установленная на четыре колеса *3* и приводимая в движение электродвигателем *4* с частотным преобразователем *5*, через гибкую канатную связь *6*. Подкапывающий лемех *14* и лоток *9* сбора вороха крепится к стойке крепежной *7*, которая монтируется на приводную тележку *2*.

Перемещение приводной тележки *2* по направляющим *1* происходит на стальных роликах *3*, диаметром 0,15 м, посредством электрического привода, состоящего из асинхронного электродвигателя *4* и частотного преобразователя *5*, позволяющего не только регулировать

частоту вращения вала электродвигателя, но также и направление вращения вала.

Методика определения $Q_{Вп}$ величины подачи вороха лука-севка с поверхности подкапывающего лемеха на сепарирующие рабочие органы заключается в следующем.

Для учета влажности почвы при проведении исследований проводилось ее определение по вышеприведенной методике. Для обеспечения требуемой влажности почвы, необходимой для проведения исследований, ее увлажняли посредством поверхностного полива, далее выдерживали несколько часов для достижения необходимой влажности в почвенном горизонте, соответствующей глубине подкапывания луковиц.

Опыты проводили при том условии, что влажность почвы соответствовала требуемому значению, в соответствии с планом эксперимента.

Рисунок 5 – Общий вид лабораторной установки по определению подачи вороха лука-севка на выкапывающий лемех для уборки корнеплодов и лука: 1 – направляющая; 2 – тележка приводная; 3 – ролик стальной; 4 – электродвигатель; 5 – преобразователь частотный; 6 – связь канатная; 7 – стойка крепежная; 8 – ось тележки; 9 – лоток сбора вороха; 10 – вал привода тележки; 11 – муфта предохранительная; 12 – подшипник; 13 – катушка с ребордами ограничительными; 14 – подкапывающий лемех; 15 – фильтр сетевой

Передвижной почвенный канал устанавливался на опытную делянку посевов лука-севка (рисунок 5). Подкапывающий лемех *7* (стандартная ширина захвата 1,2 м) устанавливался на приводную тележку *2* передвижного почвенного канала на глубину $h_Л$ подкапывания в диапазоне от 0,02…0,05 м, с интервалом варьирования в 0,01 посредством перемещения крепежной стойки *7* по приводной тележке *2*. Лоток *9* сбора вороха лука-севка соединялся жестко с подкапывающим лемехом. Затем приводили в движение тележку *2*, поступательная скорость движения которой изменялась с шагом 0,2 м/с от минимального значения, равного 0,4 м/с до предельного значения, соответствующего значению 1,8 м/с [6]. После прохождения приводной тележкой *2* опытной делянки, производился забор луко-почвенного вороха из лотка 9 с последующим взвешиванием на электронных весах модели МК – 15.2 – А21.

Величину подачи вороха лука-севка на подкапывающий лемех *7*, при установленных ранее технологических параметрах, определяли по формуле:

$$Q_{Вп} = \frac{m \cdot v_Л}{L}, \qquad (1)$$

где m – масса луко-почвенного вороха в лотке, кг;

$v_Л$ – поступательная скорость движения приводной тележки, м/с;

L – длина подкапывающего лемеха, м.

Рабочую скорость движения тележки определяли по длине учетной делянки (4 м) с учетом времени ее прохождения:

$$v_Л = \frac{S_{тел}}{t_{тел}}, \quad (2)$$

где $S_{тел}$ – путь, пройденный тележкой, м;

$t_{тел}$ – время прохождения пути, с.

С подкапывающих рабочих органов масса почвы с луковицами поступает непосредственно на сепарирующие рабочие органы, на которых происходит отсеивание почвы и растительных примесей.

Таблица 1 – Результаты исследований по определению величины подачи вороха лука-севка с выкапывающего лемеха для уборки корнеплодов и лука на сепарирующий элеватор

Поступательная скорость движения подкапывающей секции $v_Л$, м/с	Влажность почвы W=18 %				Влажность почвы W=20 %				Влажность почвы W=22 %			
	Глубина погружения в почву подкапывающей секции $h_Л$, м											
	0,02	0,03	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,05
0,4	12,2	15,1	18,2	22,2	13,8	16,3	20,2	23,5	14,4	17,1	21,1	24,2
0,6	14,9	17,7	21,9	25,7	15,7	18,4	22,7	26,4	16,3	18,1	23,4	27,2
0,8	15,3	20,5	25	27,8	16,8	21,4	25,9	28,4	17,2	22,2	26,4	29,3
1,0	16,2	22,4	28,1	30,9	18,3	23,2	29,3	31,6	18,1	24,1	30,1	32,4
1,2	18,5	25,5	31,8	35,5	19,7	26,7	32,3	36,7	20,3	27,3	33,7	37,8
1,4	19,7	27,6	35,7	36,5	21,2	28,4	36,8	38,3	22,4	29,1	37,4	39,1
1,6	23,1	31,7	36,2	41,7	23,9	32,3	38,5	42,6	24,6	33,2	38,8	43,4
1,8	25,7	36,9	36,8	42,4	26,5	36,2	39,3	43,8	28,3	37,3	40,1	44,5

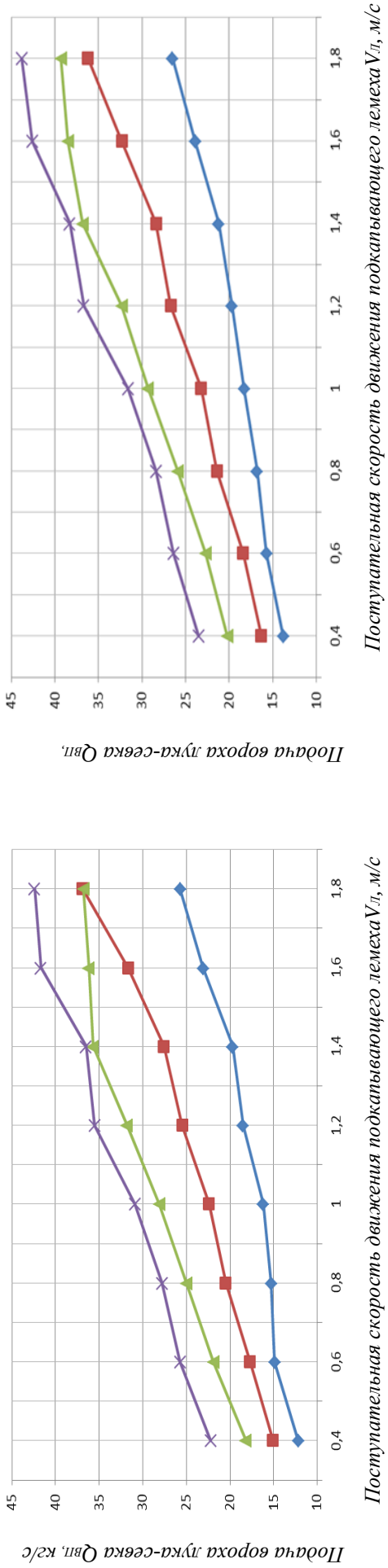
Результаты и обсуждение. Результаты исследований по определению подачи вороха лука с поверхности лемеха для уборки корнеплодов и лука обработаны на персональной ЭВМ и представлены в виде графиков на рисунке 6, которые свидетельствуют о том, что на подкапывающий орган поступает в зависимости от типа почвы от 12 до 44 кг массы луко-почвенного вороха при влажности почвы от 18 до 22 %, скорости движения 0,4 – 1,8 м/с и глубине хода подкапывающего лемеха от 0,02 – 0,05 м.

По оси абсцисс указан изменяемый технологический параметр – поступательная скорость движения подкапывающей секции при варьировании глубины подкапывания от 0,02 до 0,05 м, по оси ординат – секундная подача вороха лука-севка.

Выводы. Разработанная лабораторная установка по определению оптимальных технологических параметров выкапывающего лемеха для уборки корнеплодов и лука позволила определить оптимальные технологические параметры выкапывающего лемеха, обеспечивающие повышение качественных показателей сепарации лука-севка в результате предварительной сепарации на рабочей поверхности лемеха, что подтверждает дальнейшую перспективность теоретических и экспериментальных исследований разработанного подкапывающего лемеха.

Полученные результаты исследований позволяют определить подачу вороха лука на устройства первичной очистки луковиц с целью обоснования оптимальных режимно-технологических параметров устройств первичной и вторичной сепарации лука.

Работа выполнена при государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук МК – 4002.2018.8.



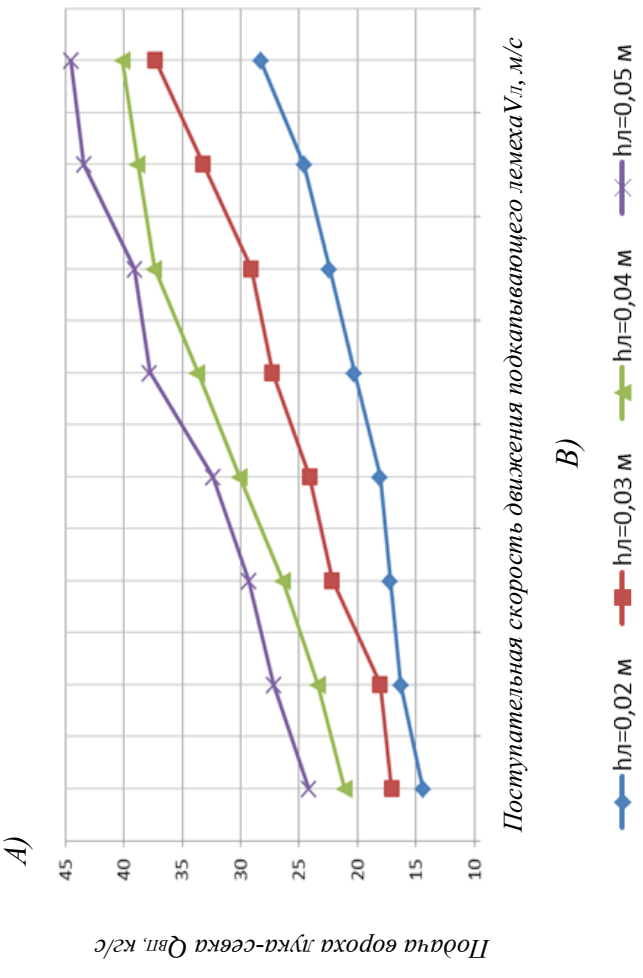


Рисунок 6 – Зависимость подачи вороха лука-севка от поступательной скорости движения выкапывающего лемеха для уборки корнеплодов и лука и глубины подкапывания луковиц при влажности подкапываемого слоя почвы: А) W=18 %; Б) W=20 %; В) W=22 %

Список используемой литературы

1. Аксенов А.Г. Исследование размерно-массовых характеристик лука-севка гибрида «Геркулес F1» // Вестник Казанского ГАУ. 2016. № 2 (40). С.5-10.
2. Сибирёв А.В. Экспериментальные лабораторные исследования цилиндрического очистителя почвенных примесей в технологическом процессе сепарации // Вестник Ульяновской ГСХА. 2017. № 2. (24). С. 33-36.
3. Лобачевский Я.П. Машинная технология производства лука: монография. Москва: ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2016.
4. Сибирёв А.В. Теоретическое определение величины подачи вороха лука-севка на подкапывающий лемех // Аграрный научный журнал. 2017. № 5. С. 75-78.
5. Патент № 2625179 Россия, МПК A01 D33/00. Выкапывающий лемех для уборки мелкосидящих корнеплодов и лука. Опубл. 12.07.2017. Бюл. № 20.
6. Емельянов П.А. Совершенствование технологии и технических средств ориентированной посадки луковиц: дис. … д-ра техн. наук. Пенза, 2002.
7. Протасов А.А. Совершенствование технологических процессов и технических средств для уборки лука: дисс. ... д-ра техн. наук. Саратов, 2005.
8. Ларюшин, А.М. Энергосберегающие технологии и технические средства для уборки лука: дис. ... д-ра техн. наук. Пенза, 2010.

References

1. Aksenov, A.G. Issledovanie razmerno-massovykh kharakteristik luka-sevka gibrida «Gerkules F1» / A.G. Aksenov, A.V. Sibirev // Vestnik Kazanskogo GAU. 2016. № 2 (40). S.5-10.
2. Sibirev, A.V. Eksperimentalnye laboratornye issledovaniya tsilindricheskogo ochistitelya pochvennykh primesey v tekhnologicheskom protsesse separatsii // Vestnik Ulyanovskoy GSKhA. 2017. № 2. (24). S. 33-36.
3. Lobachevskiy, Ya.P. Mashinnaya tekhnologiya proizvodstva luka: Monografiya. Moskva FGBNU FNATs VIM. 2016.
4. Sibirev A.V. Teoreticheskoe opredelenie velichiny podachi vorokha luka-sevka na podkapyvayushchiy lemekh // Agrarnyy nauchnyy zhurnal. 2017. № 5. S. 75-78.
5. Patent № 2625179 Rossiya, MPK A01 D33/00. Vykapyvayushchiy lemekh dlya uborki melkosidyashchikh korneplodov i luka. Opubl. 12.07.2017, Byul. № 20.
6. Yemelyanov, P.A. Sovershenstvovanie tekhnologii i tekhnicheskikh sredstv orientirovannoy posadki lukovits: dis. … dokt. tekhn. nauk . Penza, 2002.
7. Protasov, A.A. Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh protsessov i tekhnicheskikh sredstv dlya uborki luka: diss. ... d-ra. tekhn. nauk. Saratov, 2005.
8. Laryushin, A.M. Energosberegayushchie tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya uborki luka: dis. ... d-ra tekhn. nauk. Penza, 2010.

УДК 631.358.072.3

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИГОЛЬЧАТОЙ БОРОНЫ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА

Ковалев, М.М., Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства;
Сизов И.В., Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства

При возделывании льна-долгунца важную роль играет технология предпосевной обработки почвы, от особенностей которой зависят пищевой и температурный режимы почвы, а также рост и развитие растений. Многие процессы предпосевной обработки, применительно ко льну-долгунцу, остаются неизученными. По этой причине обоснование рациональных параметров игольчатых рабочих органов является важной задачей для обеспечения качественной обработки почвы. С целью обоснования конструктивных параметров и режимов работы игольчатой бороны разработана и изготовлена лабораторно-полевая установка. Машина является навесным техническим средством. Ее рабочие органы монтируются на раме, которая опирается на два опорных колеса. Диски бороны монтируются на вал, образуя батареи. Те состоят из четырех дисков и различаются расстоянием между соседними иглами. При движении агрегата по полю в процессе работы ее диски приводятся во вращение при взаимодействии с почвой игл, закрепленных на дисках. Борона имеет прикатывающий брус и может считаться комбинированным почвообрабабывающим агрегатом. Для определения конструктивно-технологических параметров и режимов игольчатой бороны проведены лабораторно-полевые исследования. В процессе работы определялись показатели качества выполнения технологического процесса. В результате исследований были установлены: рациональный диапазон рабочих скоростей игольчатой бороны и конструктивный параметр расстояния между соседними иглами, при которых обеспечивалось наиболее высокое качество работы. Диаграммы густоты стеблестоя, полученные на опытных участках после посева льна-долгунца, проведенного селекционной сеялкой, также подтверждают сделанное выше заключение о преимуществах игольчатой бороны при заданных параметрах.

Ключевые слова: *предпосевная обработка, игольчатая борона, лабораторно-полевая установка, полевые опыты, конструктивные параметры, режимы работы.*

Для цитирования: *Ковалев, М.М., Сизов И.В. Обоснование рациональных параметров игольчатой бороны при возделывании льна-долгунца // Аграрный вестник Верхневолжья. 2018. № 4 (25). С.87-90*

Введение. Эффективность возделывания льна-долгунца во многом определяется уровнем весенней предпосевной обработки почвы. От ее особенностей зависит пищевой и температурный режим почвы, а также рост и развитие растений. Для получения требуемых параметров стеблестоя в посевах льна-долгунца обработанный слой почвы должен быть хорошо разрыхленным и мелкокомковатым. В настоящее время находят распространение почвообрабатывающие орудия комбинированного типа [1, с. 117], способные за один проход выполнять не мене двух-трех операций. Эти орудия рыхлят почву, выравнивают поверхность поля, разбивают комки, уничтожают всходы сорняков. К ним относятся и разные типы игольчатых борон [2, с. 191-197], используемых при обработке почвы под зерновые культуры и практически не используемые при возделывании льна.

Существующие операции предпосевной обработки почвы ориентированы на создание оптимальных условий для прорастания семян и развития растений. Однако применительно ко льну-долгунцу многие процессы остаются не-

изученными [3, с. 12-15], в том числе те из них, которые выполняются посредством игольчатых орудий [4, с. 33-39]. По этой причине обоснование рациональных параметров игольчатых рабочих органов является важной задачей для обеспечения качественной обработки почвы.

Методы и материалы. Во Всероссийском НИИ механизации льноводства (ФГБНУ ВНИИМЛ, г. Тверь) с целью обоснования конструктивных параметров и режимов работы игольчатой бороны разработана и изготовлена лабораторно-полевая установка.

Машина является навесным устройством (рис. 1). Предназначена для агрегатирования с трактором тягового класса 0,7 кН. Рабочие органы монтируются на раме 1, которая опирается на два опорных колеса 2. При движении агрегата по полю в процессе работы ее диски 3 приводятся во вращение при взаимодействии с почвой игл, закрепленных на дисках.

Глубина обработки почвы регулируется устройством 4 для подъема бороны и винтовой тягой 5, длина которой может изменяться. Брус 6 применяется для выравнивания поверхности поля. Поскольку машина выполняет одновременно две операции – боронование и выравнивание почвы, ее можно считать комбинированным почвообрабабывающим агрегатом.

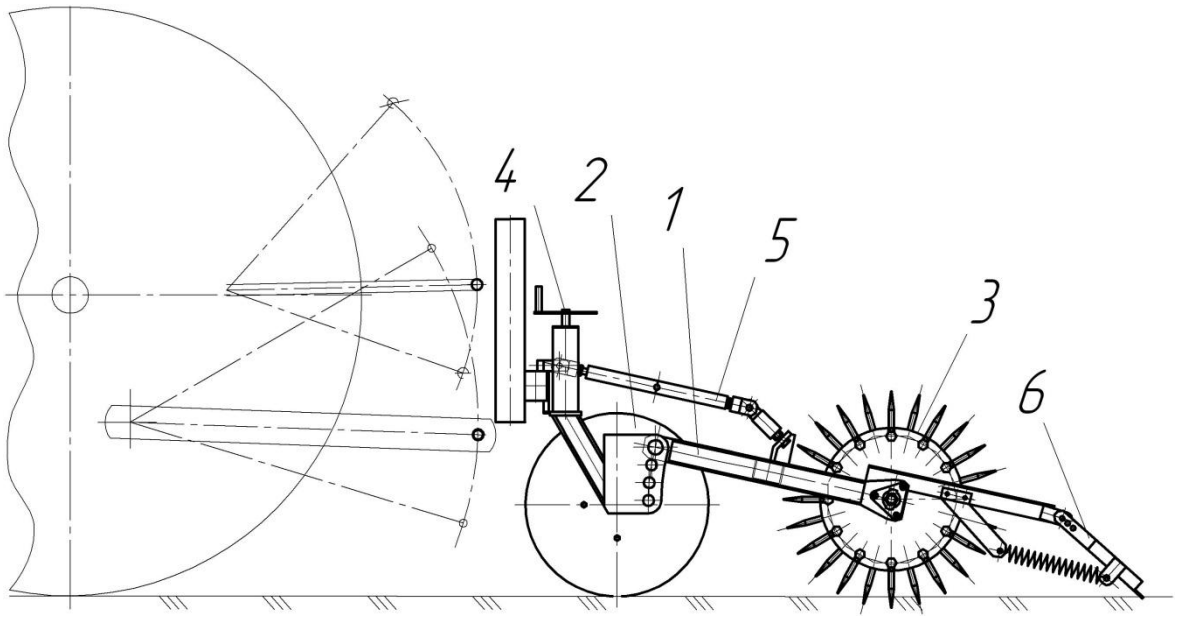
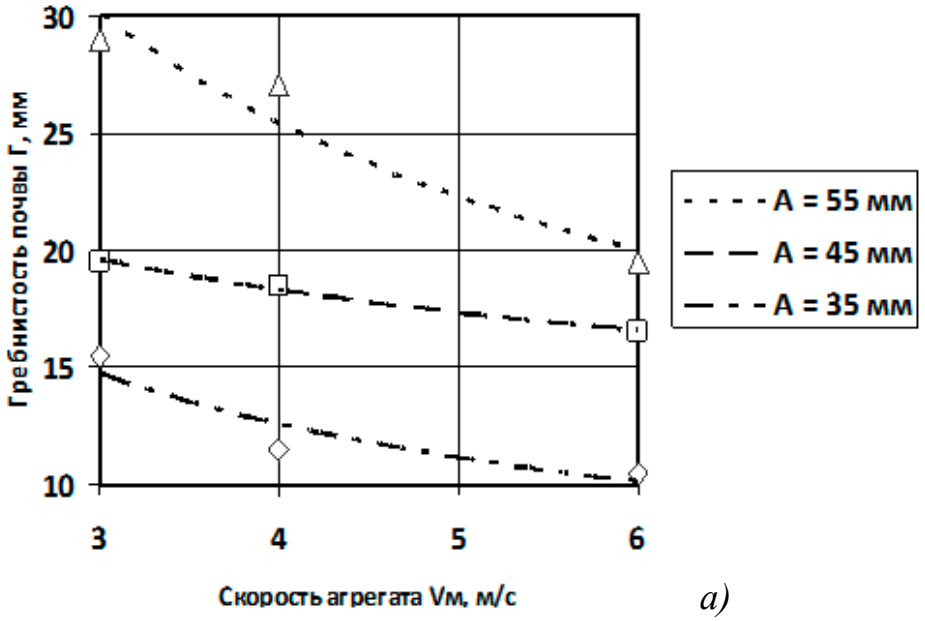


Рисунок 1 – Схема лабораторно-полевой установки игольчатой бороны с выравнивающим устройством
1 – рама; 2 – опорные колеса; 3 – игольчатые диски; 4 – устройство для регулирования глубины обработки почвы; 5 – тяга; 6 – выравнивающий брус

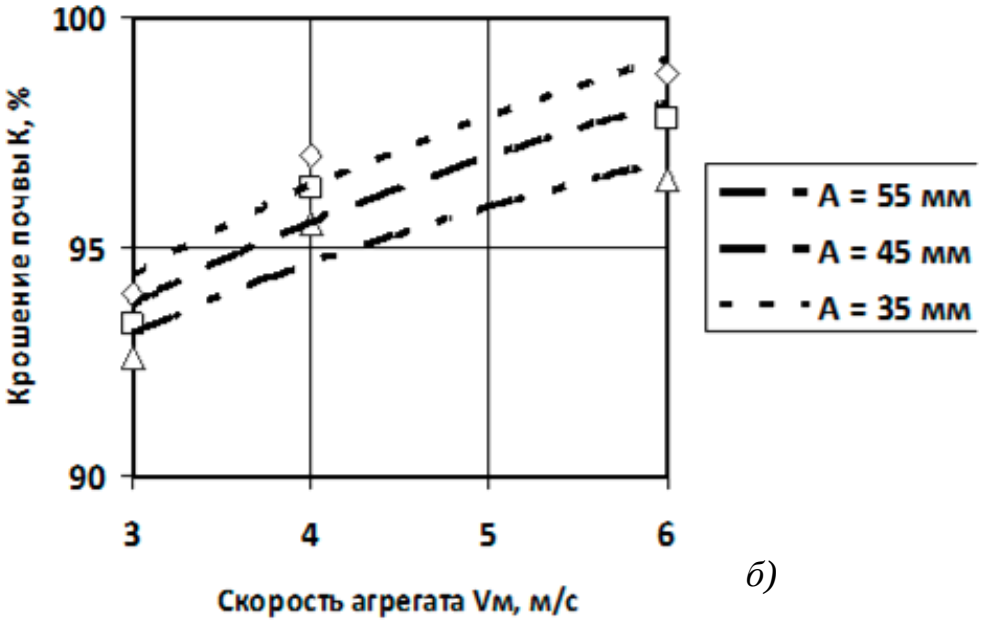
Диски бороны монтируются на вал, образуя батареи. Те состоят из четырех дисков и различаются расстоянием *A* между соседними иглами по длине вала. Такое устройство рабочих органов необходимо для обоснования рационального значения параметра *A* с целью обеспечения требуемого качества выполнения операции.

Результаты исследований. Для определения конструктивно-технологических параметров и режимов игольчатой бороны в 2017 г. были проведены лабораторно-полевые исследования. В процессе опытов предусматривалось изменение следующих параметров и режимов работы: углов заострения игл бороны $\alpha_к = 12^0, 14^0, 16^0$; расстояния между соседними иглами диска *A* = 35, 45, 55 мм; рабочих скоростей агрегата V_a= 3,2; 4,0; 5,5 м/с. На нескольких участках поля определялась твердость почвы с помощью твердомеров Ревякина со сменными наконечниками (углы заострения – 12^0, 14^0, 16^0) путем снятия диаграмм снятия [5, с. 197-201]. Показатели качества выполнения технологического процесса – гребнистость и крошение почвы, определяются в соответствии с межгосударственными стандартами [6, с. 7] [7, с. 7-8].

По результатам опытов построены графические зависимости (рис. 2).



а)



б)

Рисунок 2 – Зависимости гребнистости (а) и крошения (б) от скорости агрегата

Самое низкое значение силы давления на наконечник твердомера получено при использовании игл с углом заострения 12^0. Однако оптимальным следует считать угол 14^0, по соображениям меньшего износа и долговечности использования игл при обработке почвы.

Исходя из графиков (рис. 2 *а*, *б*), при увеличении скорости агрегата гребнистость поверхности почвы уменьшается, а показатели крошения увеличиваются. Лучшие показатели гребнистости почвы (до 15 мм) получены при расстоянии между игламиA = 35 мм.

Крошение почвы при всех вариантах показателя A соответствовало исходным требованиям (выше 90 %). Наиболее высокий показатель крошения почвы (около 95 % и выше) у секции бороны с расстоянием A = 35 мм.

Построенные диаграммы (рис. 3) густоты i_o стеблестоя, полученные на опытных участках после посева льна-долгунца, проведенные селекционной сеялкой, также подтверждают сделанное выше заключение о преимуществах игольчатой бороны при A = 35 мм и $V_м$ = 4 м/с, так как густота стеблестоя i_o = 1256 шт/м^2 наиболее высокая.

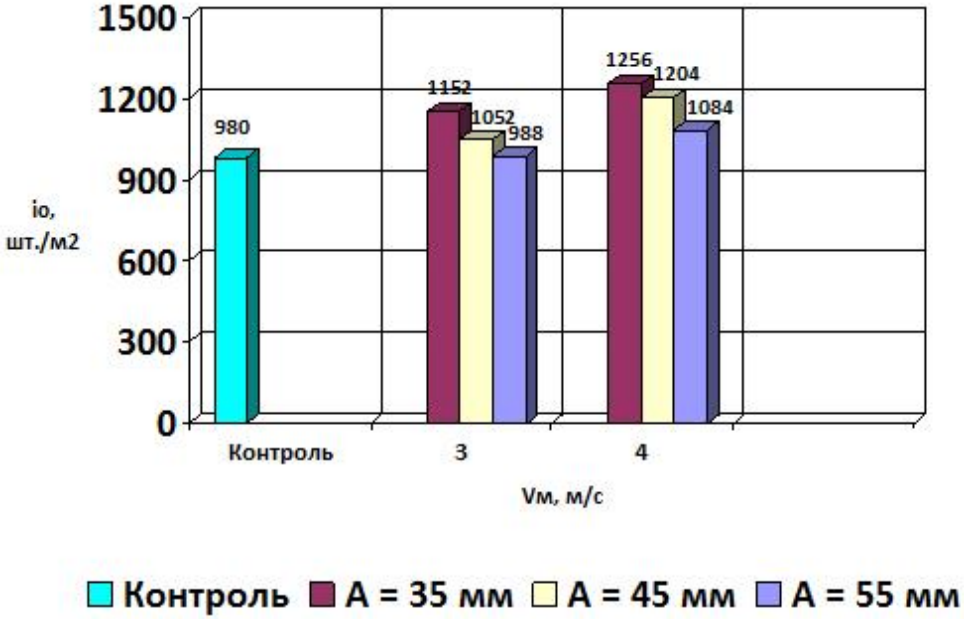


Рисунок 3 – Зависимость густоты i_o стеблестоя от скорости агрегата Vм и расстояния А между смежными иглами

Заключение. В результате исследований было установлено, что рациональный диапазон рабочих скоростей игольчатой бороны $V_м$ = 3,2…5,5 м/с. При конструктивном параметре A = 35 мм игольчатые диски обеспечивали наиболее высокое качество выполнения операции.

Список используемой литературы

1. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: Колос, 1994.

2. Сизов И.В., Кондрашов В.А. Анализ конструкционных особенностей безприводных ротационных рабочих органов для рыхления почвы // Мат. междунар. научно-практ. конф. ФГБНУ ВНИИМЛ. Тверь: Твер. гос. ун-т, 2017.

3. Хайлис Г.А., Ковалев М.М., Талах Л.А., Шевчук В.В. О прокалывании почвы иглами игольчатой бороны // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 1.

4. Шевчук В.В. Обгрунтування параметрів і режимів роботи голкової борони: дис. ... канд. техн. наук. Дослідницьке, 2015.

5. Сизов И.В., Кондрашов В.А., Фадеев Д.Г. К определению сопротивления почвы при ее проколе иглами бороны // Мат. междунар. научно-практ. конф. ФГБНУ ВНИИМЛ. Тверь: Твер. гос. ун-т, 2017.

6. ГОСТ 33687-2015. Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2016.

7. ГОСТ 33677-2015. Машины и орудия для междурядной и рядной обработки почвы. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2016.

References

1. Klenin N.I., Sakun V.A. Selskokhozyaystvennye i meliorativnye mashiny. M.: Kolos, 1994.

2. Sizov I.V., Kondrashov V.A. Analiz konstruktsionnykh osobennostey bezprivodnykh rotatsionnykh rabochikh organov dlya rykhleniya pochvy // Mat. mezhdunar. nauchno-prakt. konf. FGBNU VNIIML. g. Tver: Tver. gos. un-t, 2017.

3. Khaylis G.A., Kovalev M.M., Talakh L.A., Shevchuk V.V. O prokalyvanii pochvy iglami igolchatoy borony // Dostizheniya nauki i tekhniki APK, 2014. № 1.

4. Shevchuk V.V. Obgruntuvannya parametriv i rezhimiv roboti golkovoї boroni: dis. ... kand. tekhn. nauk. Doslidnitske, 2015.

5. Sizov I.V., Kondrashov V.A., Fadeev D.G. K opredeleniyu soprotivleniya pochvy pri ee prokole iglami borony // Mat. mezhdunar. nauchno-prakt. konf. FGBNU VNIIML. g. Tver: Tver. gos. un-t, 2017.

6. GOST 33687-2015. Mashiny i orudiya dlya poverkhnostnoy obrabotki pochvy. Metody ispytaniy. M.: Standartinform, 2016.

7. GOST 33677-2015. Mashiny i orudiya dlya mezhduryadnoy i ryadnoy obrabotki pochvy. Metody ispytaniy. M.: Standartinform, 2016.

УДК 631.22

ОБОСНОВАНИЕ ДВУХФАЗНОГО БЕССТРЕССОВОГО СПОСОБА СОДЕРЖАНИЯ СВИНЕЙ НА СТАДИИ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВИНОФЕРМ

Калюга В.В., ФГБОУ ВО СПбГАУ;
Трифанов А.В., ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ;
Базыкин В.И., ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ;
Тихонов Е.А., Петрозаводский государственный университет

На стадии концептуального проектирования обоснование технологических планировочных решений малой свинофермы по воспроизводству, выращиванию и откорму 500 свиней в год с бесстрессовым способом содержания по критериям использования площади общего назначения ($м^2$-дни) и оплаты площади производством мяса (кг/$м^2$-дни) позволяет выбрать наиболее рациональный вариант. В материале данной статьи рассмотрен и проанализирован двухфазный бесстрессовый способ воспроизводства, выращивания и откорма свиней. Произведен технологический расчет поголовья для всех половозрастных групп свиней и разработано технологическое планировочное решение свинофермы на 500 свиней в год с данным способом содержания. При двухфазном бесстрессовом способе содержания свиней не имеется резерва использования помещений, что не позволит при необходимости увеличить сроки выращивания свиней до достижения товарной массы без нарушения поточности производства. То есть применение этого способа содержания возможно только в случае использования животных с высоким генетическим потенциалом. Для оценки целесообразности применения двухфазного бесстрессового способа содержания свиней проведено его сравнение по критериям использования площади общего назначения и оплаты площади производством мяса с внедренным в производство пятифазным бесстрессовым способом содержания. Исследования проводились на свиноферме на 500 свиней в год ФХ Дмитриковой Н.И., расположенной в дер. Козлово Тверской области. Значение критерия оплаты площади общего назначения производством мяса для двухфазного бесстрессового способа содержания свиней составляет – 5,75 кг/$м^2$-дни, что ниже на 38,1 %, чем для пятифазного. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что применение двухфазного бесстрессового способа содержания свиней совершенно нецелесообразно.

Ключевые слова: *сельское хозяйство, свиноводство, технология, бесстрессовый способ, планировочное решение, площадь основного назначения, расчет.*

Для цитирования: *Калюга В.В., Трифанов А.В., Базыкин В.И., Тихонов Е.А. Обоснование двухфазного бесстрессового способа содержания свиней на стадии концептуального проектирования свиноферм // Аграрный вестник Верхневолжья. 2018. № 4 (25). С. 91-98*

Введение. В хозяйствах населения (ЛПХ и КФХ) в связи с распространением АЧС и невысокой конкурентоспособностью ЛПХ в сравнении с современными промышленными производителями за 7 последних лет объемы производства снизились на 34 % (почти 500 тыс. тонн). Однако его доля по-прежнему существенна и на данный момент составляет около 20 %. Наименьшая доля ЛПХ в общем объеме производства свинины в Центральном и Северо-Западном Федеральных округах РФ. [1, с. 5-14].

Среди традиционных способов содержания свиней на практике наиболее распространен трехфазный. Двухфазный способ содержания в промышленном производстве свинины встречается значительно реже. Одним из объектов, где

был реализован двухфазный способ содержания свиней, является ООО Животноводческий комплекс «Бор», для которого учеными ИАЭП и СПбГАУ был разработан технологический проект реконструкции свинокомплекса на 24 тыс. свиней в год.

Известно, что сопротивляемость организма стрессовым воздействиям сопровождается падением темпов роста живой массы растущего молодняка, повышенным уровнем выбраковки продуктивного поголовья в силу самых разнообразных причин [2, с. 23-24].

Авторами настоящей статьи на основании проведенного технологического расчета было разработано технологическое планировочное решение свинофермы на 500 свиней в год с двухфазным бесстрессовым способом содержания свиней.

Обилие различных технологий с большим разнообразием технических средств требует наличия и использования критериев, с помощью которых могут быть оценены и выбраны наиболее эффективные технологии и наиболее рациональные проектно-технологические решения свиноводческих предприятий [3, с. 132-139].

Цель и задачи исследований. Цель работы – обоснование и оценка двухфазного бесстрессового способа содержания свиней для малой семейной свинофермы по воспроизводству, выращиванию и откорму 500 свиней в год на этапе концептуального проектирования, обеспечивающего наиболее рациональное использование площади ($м^2$-день) общего назначения и ее оплату максимальным производством мяса ($кг/м^2$-день).

Задачи:

- разработать методику оценки площади основного назначения, площади проходов и площади на чистку, мойку, санитарный ремонт и дезинфекцию помещений после завершения цикла производства и ее оплаты производством мяса в изолированных секциях для опороса свиноматок и выращивания поросят-сосунов, доращивания поросят-отъемышей и откорма свиней для двухфазного бесстрессового способа содержания свиней.
- обосновать критерии оценки использования площади основного назначения и ее оплаты производством мяса в изолированных секциях для опороса свиноматок и выращивания поросят-сосунов, доращивания поросят-отъемышей и откорма свиней для бесстрессовых способов содержания свиней;
- провести технологический расчет поголовья и количества станкомест для содержания всех половозрастных групп свиней для свинофермы по воспроизводству, выращиванию и откорму 500 свиней в год с двухфазным бесстрессовым способом содержания свиней;
- разработать технологическое планировочное решение свинофермы по воспроизводству, выращиванию и откорму 500 свиней в год с двухфазным бесстрессовым способом содержания свиней;
- произвести оценку рассматриваемого технологического планировочного решения свинофермы с двухфазным бесстрессовым способом содержания свиней по разработанным критериям.

Условия, материалы и методы исследований. Методологической основой для постановки целей и задач исследований явились научные положения отечественных и зарубежных авторов, занимающихся совершенствованием существующих и разработкой новой технологии производства продукции свиноводства.

Исходные данные для технологического расчёта:

- ритм производства 21 день;
- размер группы подсосных маток - 3 гол.;
- количество опоросов свиноматок в году 2,34;
- количество поросят (приплод) на один среднегодовой опорос основной свиноматки - 11;
- сохранность поголовья – 88 %;
- срок службы свиноматок - 2,5 года, хряков - 1,5 года.

Технологический расчет поголовья и количества станкомест для содержания всех половозрастных групп свиней малой свинофермы по воспроизводству выращиванию и откорму 500 свиней в год с двухфазным бесстрессовым способом содержания произведен по разработанной ранее методике и принятым ритмом производства в 21 день [4, с. 293-300]. Результаты расчета представлены в таблице 1.

Разработанное технологическое планировочное решение малой свинофермы по воспроизводству, выращиванию и откорму 500 свиней в год с двухфазным бесстрессовым способом содержания свиней приведен на рисунке 1.

Таблица 1 – Результаты технологического расчета двухфазного способа содержания свиней для малой свинофермы по воспроизводству, выращиванию и откорму 500 свиней в год

Поголовье	Использование помещения, дни				К-во групп	К-во голов в 1 группе	К-во свино-мест	Свиноместа и станки	
	Содержа-ние	Резерв	Дезин-фекция	Всего				Требу-ется мест	Кол-во станков
Хряки основные	365	–	–	365	1	0,33	1	1	1
Хряки-пробники	365	–	–	365	1	0,17	1	1	1
Рем. свиноматки на подготовке к осеменению	24	2	2	28	1,33	0,58	1	1	1
Холостые матки	7	–	–	7	0,33	2,4	1	1	1
Суп.1 пер. матки	32	–	–	32	1,52	4,38	7	8	8
Суп. 2 пер. матки	75	–	–	75	3,57	3,3	12	12	4
Тяжелосуп. матки	7	-	-	7	0,33	3,3	1	1	1
Подсосные матки	28	-	-	42	1,67	3	5	5	5
Поросята-сосуны	–	–	–	–	–	33	–	–	–
Поросята-отъемыши	54	-	2	56	2,66	30	80	88	12
Свиньи откорм	82	-	2	84	3,9	29	113	124	4
Ремонтные свинки на дооткорме	35	–	–	35	1,67	0,61	1	2	1

В качестве критериев выбора технологических планировочных решений на начальной стадии концептуального проектирования приняты показатели $F_{пон}$ - использования площади основного назначения в изолированных секциях для содержания подсосных свиноматок и выращивания поросят-сосунов, доращивания поросят-отъемышей и откорма свиней ($м^2$-дни) и критерий оплаты ее производством мяса - $К_м$ (кг/$м^2$-дни).

Показатель использования площади основного назначения $F_{пон}$ в $м^2$-дн (в квадратных метр-днях) в течение всего периода выращивания (опорос, выращивание поросят-сосунов, доращивание поросят-отъемышей, откорм свиней и чистка, мойка и дезинфекция помещений) при поточной организации работы по принципу «пусто-занято» определяется по формуле:

$$F_{ПОН} = F_O + F_П + F_Д, м^2 - дни, \qquad (1)$$

где: $F_о$ – показатель использования станковой площади, $м^2$-дн;

$F_п$ – показатель использования площади проходов, $м^2$-дн;

$F_д$ – показатель использования дополнительной площади, необходимой для чистки, мойки, санитарного ремонта и дезинфекции помещений и станочного оборудования после завершения производственного цикла, $м^2$-дн.

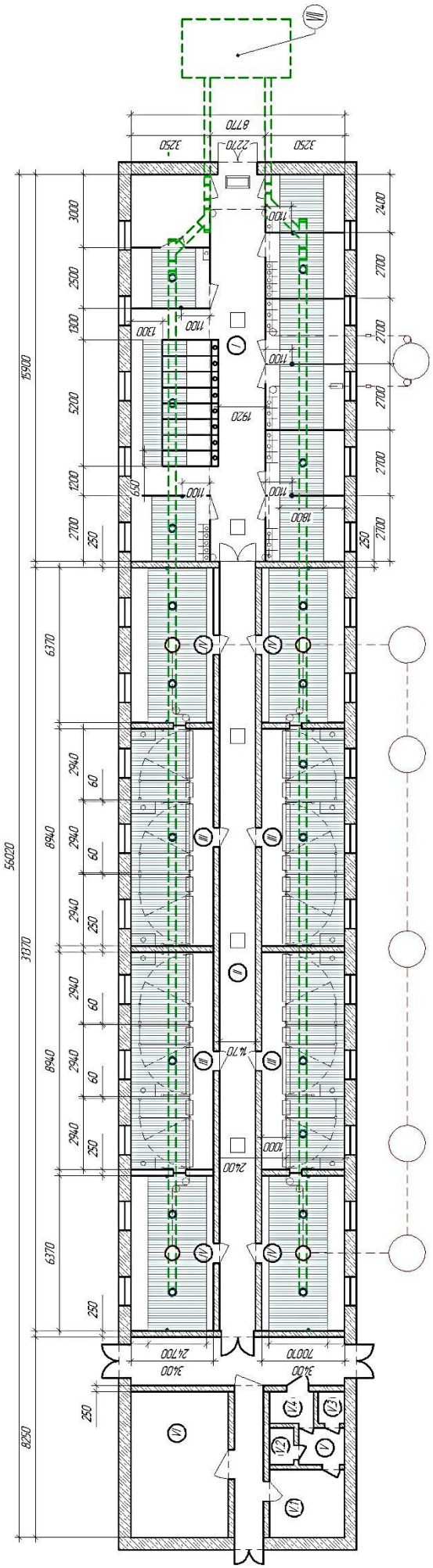


Рисунок 1 - Технологическое планировочное решение свинофермы на 500 свиней в год с двухфазным бесстрессовым способом содержания

I – изолированная секция для содержания взрослого маточного стада и хряков; II – технологический коридор; III – изолированная секция для опороса свиноматок, выращивания поросят-сосунов и доращивания поросят-отъемышей; IV – изолированная секция для откорма свиней; V – административно-бытовые помещения; V.1 – комната для персонала; V.2 – душевая; V.3 – туалет; V.4 – раздевалка; VI – котельная; VII – приемный навозосборник

Критерий оплаты площади основного назначения производством мяса определяется по формуле:

$$K_M = \frac{M_T}{F_{ПОН}}, \frac{кг}{м^2 - дни}, \qquad (2)$$

где $M_т$ – товарная (живая) масса выращенных свиней в год, кг.

Для технологического планировочного решения свинофермы на 500 свиней в год с двухфазным бесстрессовым способом содержания $F_{O2ф}$ определяется по следующей формуле:

$$F_O = N_{СОД} \times (n_{СОД} \times (l_{СОД} \times h_{СОД})) \times n_{ДОД} + \\ + N_{СО} \times (n_{СО} \times (l_{СО} \times h_{СО})) \times n_{ДО}, м^2 - дни, \qquad (3)$$

где: $N_{сод}$ – количество изолированных секций для опороса свиноматок, выращивания поросят-сосунов, доращивания поросят-отъемышей;

$n_{сод}$ – количество станков в каждой изолированной секции для опороса свиноматок, выращивания поросят-сосунов, доращивания поросят-отъемышей;

$l_{сод}$ – длина станка (изолированной секции) по фронту кормления для опороса свиноматок, выращивания поросят-сосунов, доращивания поросят-отъемышей, м;

$h_{сод}$ – глубина станка (изолированной секции) для опороса свиноматок, выращивания поросят-сосунов, доращивания поросят-отъемышей, м;

$n_{дод}$ – количество дней содержания подсосных свиноматок с поросятами-сосунами и поросятами-отъемышами (после отгона свиноматок);

$N_{со}$ – количество изолированных секций для откорма свиней;

$n_{со}$ – количество станков в каждой изолированной секции для откорма свиней;

$l_{со}$ – длина станка по фронту кормления для откорма свиней, м;

$h_{со}$ – глубина станка для откорма свиней, м;

$n_{до}$ – продолжительность откорма свиней, дней.

Показатель использования площади проходов $F_п$ для планировочного решения малой свинофермы двухфазным бесстрессовым способом содержания свиней определяется по формуле:

$$F_П = \delta \times F_O \qquad (4)$$

Коэффициент δ, характеризующий отношение площади проходов технологических планировочных решений к общей площади определяется по формуле:

$$\delta = \frac{\sum f_П}{\sum f_C}, \qquad (5)$$

где: $\sum f_П$ - суммарная площадь проходов при двухфазном способе содержания свиней, м^2;

$\sum f_C$ - общая площадь секций для содержания всех возрастных групп свиней при двухфазном способе содержания, м^2.

Суммарная площадь проходов для технологического планировочного решения свинофермы с двухфазным способом содержания свиней определяется по формуле:

$$\sum f_П = L_{ЦП} \times B_{ЦП} + N_{СОД} \times (l_{ВПСОД} \times b_{ВПСОД}), м^2 \qquad (6)$$

где: $L_{цп}$ – длина центрального прохода, м;

$B_{цп}$ – ширина центрального прохода, м;

$l_{впсод}$ – длина внутрисекционного прохода в изолированных секциях для опороса свиноматок и доращивания поросят-отъемышей, м;

$b_{впсод}$ – ширина внутрисекционного прохода в изолированных секциях для опороса свиноматок и доращивания поросят-отъемышей, м

Суммарная станковая площадь секций для содержания всех возрастных групп свиней для двухфазного бесстрессового способа содержания определяется по формуле:

$$\sum f_{C2ф} = L_{ЦП} \times B_{ЦП} + N_{СОД} \times (n_{СОД} \times (l_{СОД} \times h_{СОД}) + \\ + l_{ВПСОД} \times b_{ВПСОД}) + N_{СО} \times (n_{СО} \times (l_{СО} \times h_{СО})), м^2 \qquad (7)$$

Показатель использования дополнительной площади $F_д$ на очистку, мойку, санитарный ремонт и дезинфекцию помещений для содержания всех половозрастных групп свиней технологического планировочного решения (рис. 1) определяется по формуле:

$$F_Д = \frac{F_O + F_П}{T} \times T_Д \times Ф, м^2 - дни, \qquad (8)$$

где: Т – продолжительность выращивания свиней от рождения до завершения откорма и достижения товарной массы, дней;

$T_д$ – продолжительность очистки, мойки, санитарного ремонта и дезинфекции секций ($T_д$ = 2 дня), дней;

Ф – фазность способа содержания.

Результаты исследований. Для объективной оценки данных полученных в результате расчета для двухфазного способа содержания свиней они будут сравнены с аналогичными

показателями для пятифазного способа содержания, внедренного в производство на свиноферме на 500 голов в год ФХ Дмитриковой Н. И. Результаты определения $F_{пон}$ на стадии концептуального проектирования малой свинофермы сведены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели использования площади основного назначения за цикл производства для малой свинофермы по воспроизводству, выращиванию и откорму 500 свиней в год с 2-х и 5-фазными бесстрессовыми способами содержания свиней на полностью решетчатых полах

Бесстрессовый способ содержания свиней	Показатели использования площади основного назначения з а цикл, $F_{пон}$, м^2-дни			
	Всего	В том числе		
	$F_{пон}$	$F_о$	$F_п$	$F_д$
Двухфазный	9381,8	7023,46	2128,11	230,22
Пятифазный	6675,11	5128,9	1171,2	375,01

Из таблицы 2 видно, что двухфазный способ содержания свиней является наименее предпочтительным из рассмотренных по показателям станковой площади и площади проходов. Однако он значительно превосходит пятифазный бесстрессовый способ содержания по показателю использования дополнительной площади, но это обусловлено проведением двух санитарных обработок против пяти, соответственно. В целом, показатель использования площади основного назначения у двухфазного бесстрессового способа содержания ниже на 40,5 %, чем у пятифазного.

Продолжительность содержания и достижение товарной массы всех групп свиней при двухфазном бесстрессовом способе содержания свиней приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели продолжительности содержания и достижения товарной массы свиней для малой свинофермы по воспроизводству, выращиванию и откорму 500 свиней в год двухфазным бесстрессовым способом содержания

Группа свиней	Двухфазный бесстрессовый способ содержания
Поросята-сосуны и поросята-отъемыши, кг	29,99
Откормочные свиньи, кг	77,9
Товарная (живая) масса, кг	107,89
Продолжительность выращивания, дней	159
Продолжительность занятости секций, дней	168
Резерв с поправкой на качество генетического потенциала животных и уровень кормления, дней	-

Для расчетов применялись следующие значения среднесуточных привесов [5]:

- масса поросенка при рождении – 1,5 кг;
- поросята-сосуны – 230 гр/сутки;
- поросята-отъемыши на доращивании – 450 гр/сутки;
- свиньи на откорме – 950гр/сутки;

При упрощенном расчете показатель достижения товарной массы животных при двухфазном бесстрессовом способе содержания свиней составляет 168 дней, с учетом продолжительности дезинфекции после каждой фазы технологического процесса. Однако расчет этого показателя условен в силу того, что рост массы

животных описывается полиномиальной функцией и не является линейным [6, с. 66-76], [7, с. 100-108], [8, с. 16-22]. В данном случае показательно то, что при двухфазном бесстрессовом способе содержания свиней не имеется резерва использования помещений, что не позволит при необходимости увеличить сроки выращивания свиней до достижения товарной массы без нарушения поточности производства. То есть применение этого способа содержания возможно только в случае использования животных с высоким генетическим потенциалом. Также 2-х и 5-фазные бесстрессовые способы содержания свиней следует оценить по критерию оплаты площади производством мяса. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения критерия оплаты площади производством мяса для 3-х и 5-фазных бесстрессовых способов содержания свиней

Способ содержания	$F_{пон}$ (за год)	Товарная масса свиней в год, $М_т$, кг	$К_м$ (кг/м^2-дни)
Двухфазный	20383,07	117201,9	5,75
Пятифазный	13313,74	105650,54	7,94

Из таблицы 4 видно, что по критерию оплаты площади общего назначения производством мяса пятифазный бесстрессовый способ содержания свиней предпочтительнее двухфазного.

Выводы. На стадии концептуального проектирования обоснование технологического планировочного решения малой свинофермы по воспроизводству, выращиванию и откорму 500 свиней в год двухфазным бесстрессовым способом содержания по критериям использования площади общего назначения (м^2-дни) и оплаты площади производством мяса (кг/м^2-дни) позволяет выбрать наиболее рациональный вариант планировки производственных помещений.

По показателю использования площади основного назначения, внедренный в производство на свиноферме на 500 голов в год ФХ Дмитриковой Н.И. пятифазный бесстрессовый способ содержания свиней эффективнее на 40,5 %, чем двухфазный при аналогичных исходных данных.

Значение критерия оплаты площади общего назначения производством мяса для двухфазного бесстрессового способа содержания свиней составляет –5,75 кг/м^2-дни, что ниже на 38,1 %, чем для пятифазного.

На основании вышеизложенного в рамках данного исследования с учетом полученных результатов можно сделать вывод, что применение двухфазного бесстрессового способа содержания свиней совершенно нецелесообразно. Он практически по всем показателям значительно уступает пятифазному бесстрессовому способу воспроизводства, выращивания и откорма свиней.

Список используемой литературы

1. Трифанов А.В., Калюга В.В., Базыкин В.И. Состояние и тенденции развития производства свинины в Российской Федерации // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2016. № 90. С. 5-14.

2. Водянников В.И., Шкаленко В.В. Профилактика технологических стрессов на заключительном откорме молодняка свиней // Свиноводство. 2017. № 2. С. 23-24.

3. Базыкин В.И., Калюга В.В., Трифанов А.В. Критерии оценки и выбора проектно-технологических решений свиноводческих предприятий // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2016. № 90. С. 132-139.

4. Калюга В.В., Базыкин В.И. Основы технологического расчёта малой свинофермы с бесстрессовым способом содержания свиней и определение её габаритов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. СПб. 2012. № 27. С. 293-300.

5. Комлацкий Г.В. Индустриализация и интенсификация отрасли свиноводства на юге России: автореф. … д-ра с.-х. наук. Черкеск, 2014.

6. Калюга В.В., Базыкин В.И., Тихонов Е.А., Зайцева М.И. Графическое и математическое моделирование пятифазной бесстрессовой технологии воспроизводства, выращивания и откорма свиней // Resources and Technology. 2014. Т.11. № 1. С. 66-76.

7. Калюга В.В., Базыкин В.И. Результаты исследования пятифазной бесстрессовой технологии воспроизводства, выращивания и откорма свиней // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. СПб.: ГНУ СЗНИИМЭСХ. 2014. № 85. С. 100-108.

8. Калюга В.В., Базыкин В.И., Привалов М.Н. Моделирование пятифазной бесстрессовой технологии воспроизводства, выращивания и откорма свиней // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2013. № 4 (12). С. 16-22.

References

1. Trifanov A.V., Kalyuga V.V., Bazykin V.I. Sostoyanie i tendentsii razvitiya proizvodstva svininy v Rossiyskoy Federatsii // Tekhnologii itekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2016. № 90. S. 5-14.

2. Vodyannikov V.I., Shkalenko V.V. Profilaktika tekhnologicheskikh stressov na zaklyuchitelnom otkorme molodnyaka sviney // Svinovodstvo. 2017. № 2. S. 23-24.

3. Bazykin V.I., Kalyuga V.V., Trifanov A.V. Kriterii otsenki i vybora proektnotekhnologicheskikh resheniy svinovodcheskikh predpriyatiy // Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2016. № 90. S. 132-139.

4. Kalyuga V.V., Bazykin V.I. Osnovy tekhnologicheskogo rascheta maloy svinofermy s besstressovym sposobom soderzhaniya sviney i opredelenie ee gabaritov // Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. SPb. 2012. № 27. S. 293-300.

5. Komlatskiy G.V. Industrializatsiya i intensifikatsiya otrasli svinovodstva na yuge Rossii: avtoref. …d-ra s.-kh. nauk . Cherkessk, 2014.

6. Kalyuga V.V., Bazykin V.I., Tikhonov E.A., Zaytseva M.I. Graficheskoe i matematicheskoe modelirovanie pyatifaznoy besstressovoy tekhnologii vosproizvodstva, vyrashchivaniya i otkorma sviney // Resources and Technology. 2014. T.11. № 1. S. 66-76.

7. Kalyuga V.V., Bazykin V.I. Rezultaty issledovaniya pyatifaznoy besstressovoy tekhnologii vosproizvodstva, vyrashchivaniya i otkorma sviney // Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva. SPb.: GNU SZNIIMESKH. 2014. № 85. S. 100-108.

8. Kalyuga V.V., Bazykin V.I., Privalov M.N. Modelirovanie pyatifaznoy besstressovoy tekhnologii vosproizvodstva, vyrashchivaniya i otkorma sviney // Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledo-vatelskogo institute mekhanizatsii zhivotnovodstva. 2013. № 4 (12). S. 16-22

УДК: 637.112.5; 637.115

КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАНИПУЛЯТОРА РОБОТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ПРЕДДОИЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ВЫМЕНИ

Абалихин А.М., ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА;
Муханов Н.В., ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА;
Крупин А.В., ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА;
Барабанов Д.В., ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА;
Сафонова Н.Н., ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА

Робототехнические системы с манипуляторами, воспроизводящими движение рук человека, широко используются в различных отраслях промышленности, в том числе и сельском хозяйстве. Применение роботов существенно снижает затраты труда и повышает эффективность производства. Подавляющее число сельскохозяйственных роботов в нашей стране – импортные. Поэтому вопрос создания отечественных робототехнических систем стоит очень остро. Начальным этапом создания любой технической системы является ее проектирование. Проектируемая авторами роботизированная установка преддоильной подготовки вымени, предназначенная для работы в доильном зале совместно с конвейерно-кольцевой доильной установкой типа «Карусель», содержит манипулятор, обеспечивающий перемещение рабочего органа в рабочую область и станок, в котором находится корова во время преддоильной подготовки вымени. Для определения оптимальных конструктивных параметров манипулятора была предложена его конструкция и разработана трехмерная модель. Проведенные кинематические исследования манипулятора установки преддоильной подготовки вымени позволили определить оптимальную длину рычагов и местоположение манипулятора относительно станка, а также и размеры станка. Исследования проводились графическим методом с учетом всех возможных вариантов расположения коровы в станке роботизированной установки преддоильной подготовки вымени. На основании проведённого исследования станет возможным создание действующего прототипа манипулятора для проведения дальнейших исследований.

Ключевые слова: *роботизированная установка, преддоильная подготовка, манипулятор, кинематическое исследование, степень подвижности, угол поворота рычага.*

Для цитирования: *Абалихин А.М., Муханов Н.В., Крупин А.В., Барабанов Д.В. Кинематическое исследование манипулятора роботизированной установки преддоильной подготовки вымени // Аграрный вестник Верхневолжья. 2018. № 4 (25). С. 99-108*

Введение. Ускорение и интенсификация производства, повышение производительности и качества продукции невозможны без высокого уровня автоматизации технологических процессов.

Расширяются сферы участия человека в различных сложных и опасных технологических процессах производства. Поэтому стремление чело-века использовать машины-автоматы, манипуляторы и роботы является вполне естественным процессом [1].

Движение исполнительных органов, которые совершают полезную работу, зависит от формы и размеров объектов, конфигураций машин и окружающего пространства, которые могут изменяться при реализации того или иного технологического процесса. Поэтому в автоматизированном производстве часто возникает необходимость реализации разнообразных сложных движений, аналогичных движениям рук человека. Эти движения могут осуществляться специальными устройствами, получившими название манипуляторов, промышленных роботов, автооператоров, которые получили общее название – роботосистемы.

Промышленные роботы, в отличие от обычных манипуляторов, выполняющих преимущественно одну или несколько однотипных опера-

ций, могут выполнять большое количество операций. При этом переход от одной операции к другой осуществляется путем изменения в программе управления роботом, а при смене объекта, с которым оперирует робот, требуется лишь переналадка движений его рабочих органов [2,3].

Высокий срок службы, относительная надежность, высокий коэффициент использования промышленных роботов обуславливают эффективность их применения в различных отраслях промышленности – и не только отдельных роботов, но и автоматических поточных линий и других автоматизированных систем на их базе.

В настоящее время существует большое количество видов работ, где роботизированные установки могут значительно улучшить условия труда и повысить его производительность. Не исключением является и агропромышленный комплекс, где уже сейчас используется большое количество робототехнических систем, как в животноводстве, так и растениеводстве. Но все используемые на настоящий момент роботы имеют импортное происхождение [4, 5, 6]. Тем не менее отечественными учеными ведутся разработки робототехнических систем, одной из которых является роботизированная установка преддоильной подготовки вымени, разрабатываемая сотрудниками инженерного факультета ФГБОУ ВО Ивановской ГСХА [7-11].

Цель исследования. Обосновать длины грузового и вспомогательного рычагов манипулятора установки преддоильной подготовки вымени путем исследования кинематических схем перемещений.

Задачи исследования.

1. Задавшись предварительно длинами основного и вспомогательного рычагов манипулятора, вычертить схему роботизированной установки преддоильной подготовки вымени в натуральную величину.

2. Определить возможные положения манипулятора относительно станка роботизированной установки преддоильной подготовки вымени в зависимости от расположения в нем коровы.

3. Провести кинематическое исследование манипулятора графическим способом, путем определения положений его рычагов и углов их поворота, при различных положениях коровы в станке.

4. Провести анализ результатов кинематического исследования и определить длины рычагов манипулятора.

Методика и результаты исследования. Схема роботизированной установки преддоильной подготовки вымени разрабатывается на основании известных морфологических данных коров, полученных при изучении экстерьера методом промеров [12].

Частью роботизированной установки преддоильной подготовки вымени является манипулятор, схема трехмерной модели которого приведена на рисунке 1.

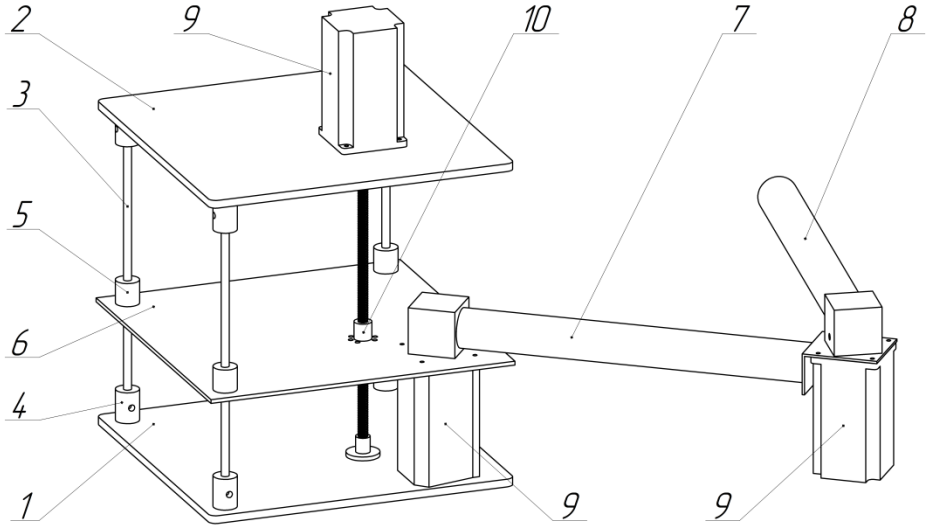


Рисунок 1 – Схема трехмерной модели манипулятора установки преддоильной подготовки вымени

1 – пластина нижняя опорная; 2 – пластина верхняя; 3 – шпильки; 4 – держатели; 5 – втулки; 6 – пластина подвижная; 7 – рычаг грузовой; 8 – рычаг вспомогательный; 9 – двигатели шаговые, 10 – передача ШВП

Основание манипулятора образуют пластины *1* и *2*, которые соединены между собой шпильками *3*, установленными в держателях *4*. Шпильки *3* являются направляющими для перемещения втулок (линейных подшипников) *5*, на которых закреплена подвижная платформа *6*. На подвижной пластине *6* закреплены грузовой *7* и вспомогательный *8* рычаги. Поступательное перемещение подвижной пластины *6* и вращательные движения рычагов осуществляются при помощи трех шаговых двигателей *9*. Грузовой *7* и вспомогательный *8* рычаги манипулятора установлены на валах шаговых двигателей *9*. Перемещение подвижной платформы *6* осуществляется при помощи шариковой винтовой передачи (ШВП) *10*. Винт получает вращение от шагового двигателя *9*, установленного на верхней пластине *2*. На консольный участок вспомогательного рычага *8* устанавливается исполнительный рабочий орган, осуществляющий преддоильную подготовку вымени.

Проведение операции по преддоильной подготовке вымени должно обеспечиваться роботизированной установкой, осуществляющей минимальное число движений – перемещений рычагов манипулятора в пространстве. В разработанной схеме, необходимое положение рабочего органа в пространстве (позиционирование) осуществляется за счет следующих перемещений: относительное движение вспомогательного рычага – вращение вокруг оси, расположенной на грузовом рычаге; переносное движение рабочего органа вместе с грузовым рычагом – вращение вокруг оси, расположенной на подвижной платформе; еще одно переносное движение, которое осуществляется при поступательном перемещении подвижной платформы за счет вращения винта шариковой винтовой передачи. В итоге получаем три степени свободы рабочего органа или три возможных перемещения в пространстве. Такая компоновка узлов позволила получить простую установку с низкой металлоёмкостью конструкции. А работа трёх шаговых двигателей, обеспечивающих работу манипулятора, позволит снизить затраты электроэнергии по сравнению с аналогичными установками, у которых требуемое перемещение рабочего органа достигается большим числом перемещений в пространстве, которые обеспечивают большее количество электродвигателей и механизмов.

Для предварительного определения длин грузового и вспомогательного рычагов манипулятора необходимо определить габаритные размеры станка. Результаты исследований показали [12] следующие рациональные размеры станка для комфортного размещения коровы и беспрепятственного проведения преддоильной подготовки: его длина должна составлять 2500 мм, а ширина – 900 мм. На кинематических схемах (рисунки 2, 3, 4, 5) контур станка показан штриховой линией.

На функциональность роботизированной установки оказывают влияние местоположение манипулятора относительно станка, габаритные размеры и длины рычагов манипулятора. Для определения перечисленных параметров удобнее всего и проще использовать графический метод, а именно проводить исследования с использованием горизонтальной плоскости проекций (вид сверху), на которой разместим следующее: манипулятор и контур станка с помещенной в него коровой (показана штрихпунктирной линией); на контуре коровы схематично показаны положения ног и вымени – выделены для наглядности жирной линией. Для повышения достоверности результатов исследований кинематические схемы вычерчены в натуральную величину, т.е. в масштабе 1:1.

Задача манипулятора – перемещение рабочего органа в рабочую область, а для этого необходимо выполнение следующих условий:

1) консольный участок вспомогательного рычага должен доставать до середины вымени, которая схематично отмечена скрещивающимися линиями, заключенными в прямоугольный контур;

2) во время движения рычаги манипулятора не должны задевать ноги коровы.

Для определения местоположения манипулятора рассмотрим пять крайних положений коровы в станке, показанных на рисунке 2.

Расположим манипулятор справа от станка, тогда в качестве крайнего положения коровы в станке выступит положение 1 (рисунок 2 а)). Исходя из компактности размещения модулей, осуществляющих движения, и устойчивости манипулятора, основание которого состоит из пластин (рисунок 1), выбираем размеры пластин 400×400 мм.

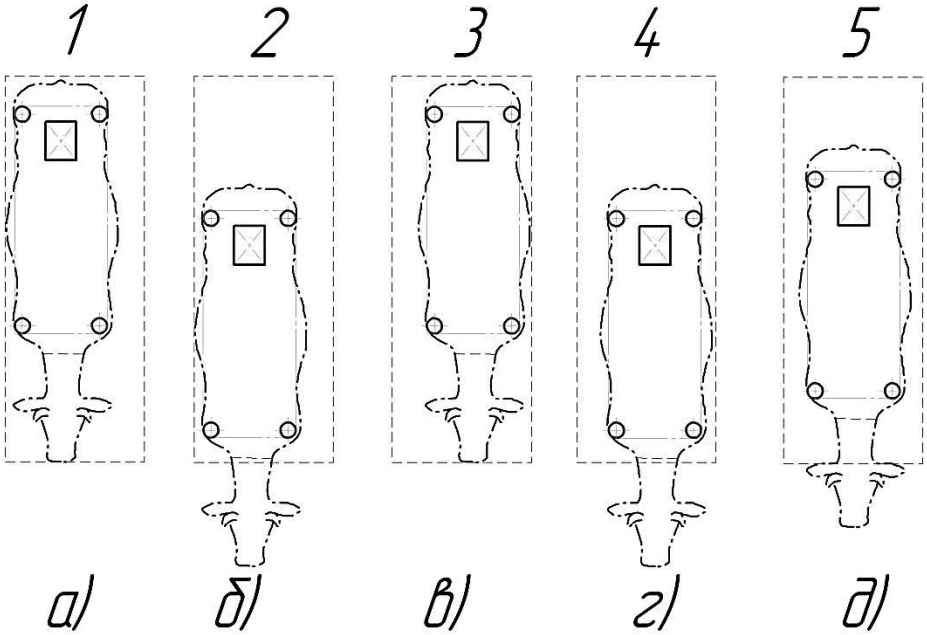


Рисунок 2 – Рассматриваемые положения коровы в станке
а) положение 1; б) положение 2; в) положение 3; г) положение 4; д) положение 5

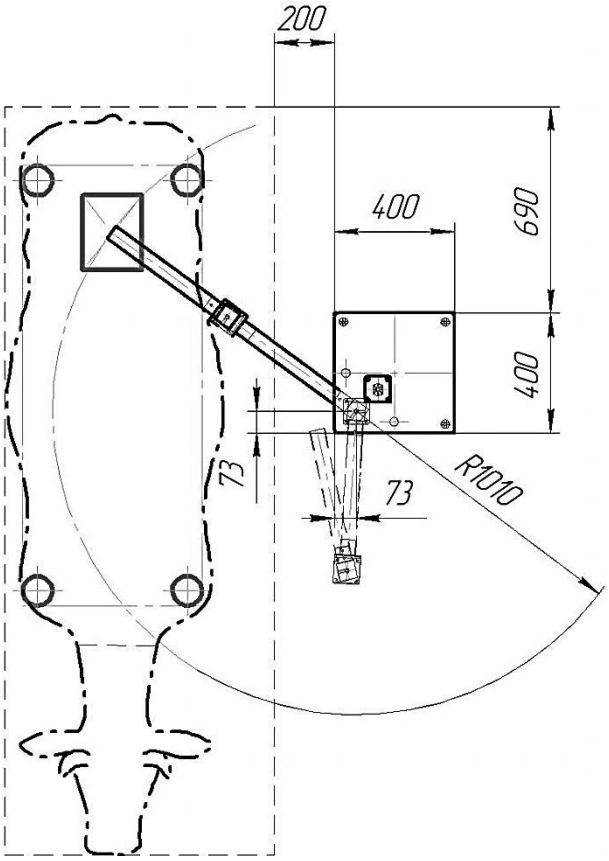


Рисунок 3 – Схема к определению геометрических размеров и местоположения манипулятора

Выбранные шаговые двигатели имеют ограниченные возможности по развиваемому крутящему моменту, на основании этого принимаем суммарную длину рычагов манипулятора, равную 1010 мм. Ось манипулятора разместим на расстоянии 73 мм от ребра подвижной пластины (рисунок 3). Очертим дугой окружности радиус вращения консольного участка манипулятора, равный длине 1010 мм – когда оси грузового и вспомогательного рычагов выстраиваются в одну линию. Перемещая манипулятор вдоль правой стороны станка, визуально определяем оптимальное положение, которое составляет 690 мм по длине и 200 мм по ширине от дальнего правого угла станка.

При проведении кинематических исследований расположение манипулятора относительно станка неизменно. С целью повышения маневренности манипулятора рассмотрим три варианта исполнения с различными длинами рычагов, при этом суммарная длина рычагов не изменяется.

За длины рычагов принимаем следующие:

- для грузового рычага – это расстояние между осевыми линиями валов шаговых электродвигателей;
- для вспомогательного рычага – расстояние между консольным участком рычага и осевой линией вала электродвигателя, на котором установлен сам рычаг.

Первый вариант (вариант А). Длина грузового рычага – 530 мм, длина вспомогательного – 480 мм, т.е. длина грузового рычага на 10 % превышает длину вспомогательного. В данном варианте длина вспомогательного рычага максимальная, что обеспечит максимальную окружную скорость перемещения его консольного участка, на котором расположен рабочий орган.

Второй вариант (вариант Б). Длина грузового рычага – 630 мм, длина вспомогательного – 380 мм. Такая длина рычагов выбрана с учетом следующих соотношений: 5 долей от суммарной длины рычагов – длина вспомогательного рычага; 8 долей от суммарной длины рычагов – длина грузового рычага. В итоге получаем соотношение 5/8. Длина грузового рычага на 65 % больше длины вспомогательного.

Третий вариант (вариант В). Длина грузового рычага – 750 мм – максимально допустимая, длина вспомогательного – 260 мм, что на 288 % меньше длины грузового.

Для того чтобы показать способ определения углов поворота рычагов, воспользуемся схемой на рисунке 4. На рисунке 4 а) показана схема по определению углов поворота грузового рычага.

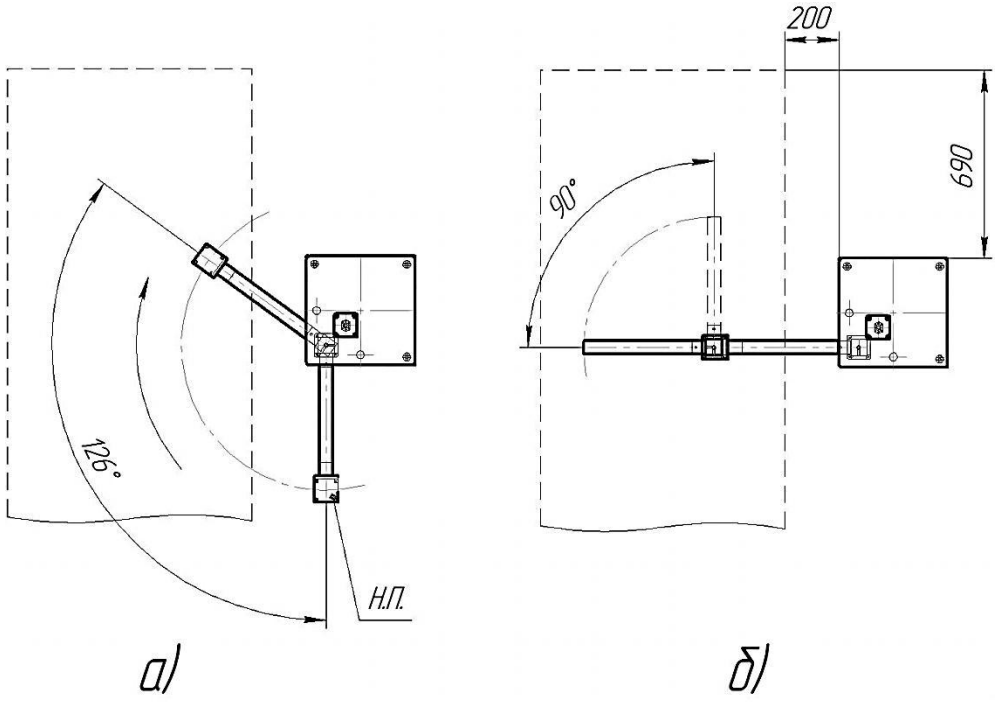


Рисунок 4 – Схема к определению углов поворота рычагов
а) грузовой рычаг; б) вспомогательный рычаг

В качестве начального выберем положение, отмеченное на схеме надписью Н.П. Отсчет величины углов поворота ведем в направлении, указанном дуговой стрелкой (по ходу часовой стрелки). При определении углов поворота вспомогательного рычага (рисунок 4 б)), в качестве начального будем использовать положение, при котором осевые линии обоих рычагов совпадают, независимо от положения грузового рычага.

Результаты кинематических исследований установки графическим способом представлены на рисунке 5. Как было описано выше, рассмотрены три варианта исполнения манипулятора с различными длинами рычагов для пяти положений коровы в станке. Положения коровы (рисунок 2) на схемах отмечены цифрами от 1 до 5, а варианты исполнений манипулятора буквами А, Б, В, которые показаны в виде нижнего индекса цифры, соответствующей положению коровы. Например, обозначение $2_Б$ принадлежит второму положению коровы в станке и рассматриваемому манипулятору с длинами рычагов, соответствующими второму варианту исполнения.

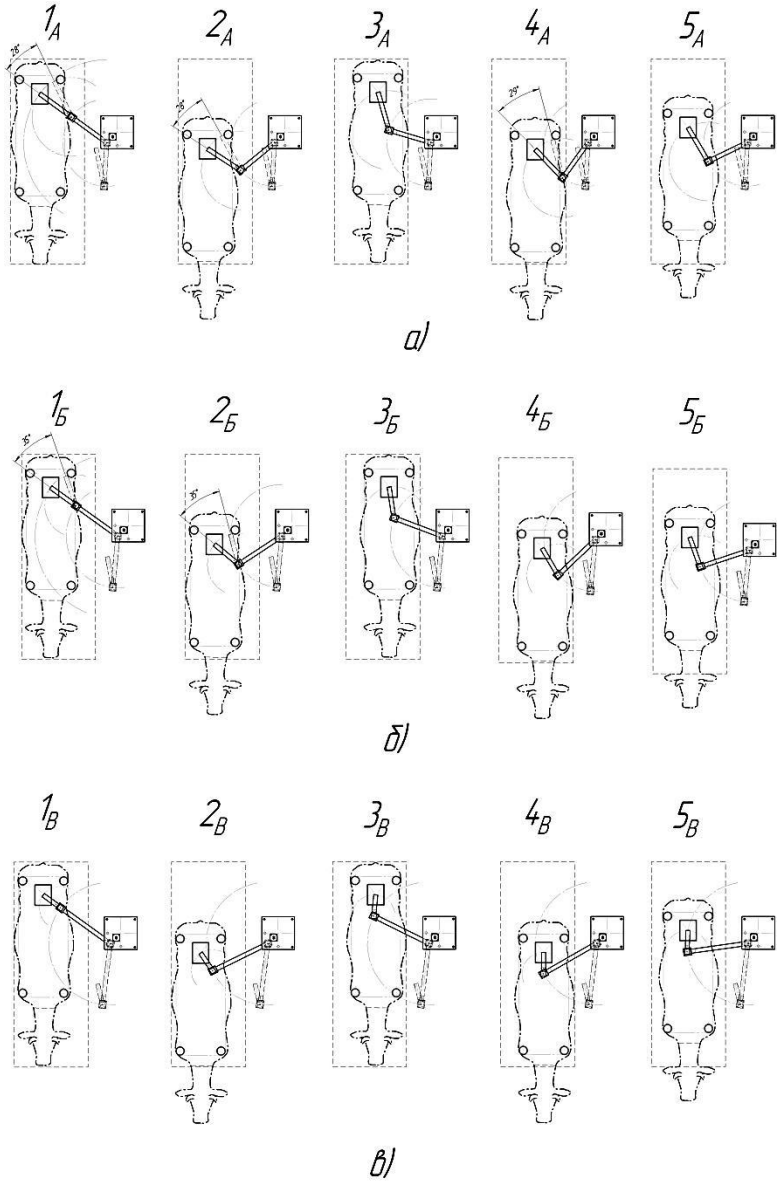


Рисунок 5 – Результаты кинематических исследований установки
а) первый вариант исполнения (вариант А); б) второй вариант исполнения (вариант Б);
в) третий вариант исполнения (вариант В)

На схемах дуговыми штрихпунктирными линиями показаны траектории движения оси, на которой шарнирно крепится вспомогательный рычаг и траектории движения консольного участка вспомогательного рычага. Пунктирными линиями показаны крайние положения вспомогательного рычага, при которых возможны случаи их встречи с задними ногами животного при перемещении.

На представленных схемах рисунка 5 нас интересуют углы поворота рычагов манипулятора (положения рычагов), когда консольный участок вспомогательного рычага занимает положение строго под серединой вымени коровы.

Результаты замеров углов положений рычагов манипулятора представлены в таблице 1. При анализе вариантов исполнения манипулятора в таблицу 1 включим такой показатель, как критический угол поворота вспомогательного рычага, при котором происходит его встреча с задней ногой коровы.

Таблица 1 – Результаты замеров углов положений рычагов

Наименование угла	Номер положения коровы в станке				
	1	2	3	4	5
Первый вариант (вариант А)					
Угол поворота грузового рычага	126°	50°	106°	35°	65°
Угол поворота вспомогательного рычага	0°	72°	57,4°	100,5°	85,4
Критический угол поворота вспомогательного рычага	28°	100,7°	отсутствует	130°	отсутствует
Второй вариант (вариант Б)					
Угол поворота грузового рычага	125,8°	56,8°	110,6°	46,5°	71,5°
Угол поворота вспомогательного рычага	0°	73,2°	60,5°	103,4	89°
Критический угол поворота вспомогательного рычага	35°	108°	отсутствует		
Третий вариант (вариант В)					
Угол поворота грузового рычага	125,9°	63,8°	116,3°	60,3°	82°
Угол поворота вспомогательного рычага	0°	82,2°	69,2	120,8°	100,7°
Критический угол поворота вспомогательного рычага	отсутствует				

Анализируя схемы на рисунке 5 и данные таблицы 1, нужно отметить следующее. В первом варианте в положениях $3_А$ и $5_А$ отсутствуют критические углы поворота вспомогательного рычага; во втором варианте критические углы поворота отсутствуют в положениях $3_Б$, $4_Б$ и $5_Б$; в третьем варианте углы вообще отсутствуют. Отсутствие критических углов поворота связано с тем, что в третьем варианте исполнения длина вспомогательного рычага наименьшая. Здесь недостатком является то, что при позиционировании манипулятора грузовому рычагу приходится делать больше перемещений и на больший угол. При переводе манипулятора из рабочих положений $1_В$, $3_В$ в положение ожидания возможна встреча с передней ногой коровы. В остальных двух вариантах такого не наблюдается. Если за базовый принять первый вариант исполнения манипулятора (вариант А), то наблюдается увеличение критических углов поворота вспомогательных рычагов у положения $1_Б$ на 25 % по сравнению с положением $1_А$, у положения $2_Б$ на 7 % по сравнению с положением $2_А$. Это связано также с увеличением длины грузового рычага. Для того, чтобы произошла встреча с задней ногой коровы при уменьшении длины вспомогательного рычага (второй вариант по сравнению с первым), нужно повернуть его на больший угол. В третьем варианте такая встреча вообще не наблюдается.

Рассмотрим изменение углов поворота грузового и вспомогательного рычага, за базовый примем первый вариант исполнения (вариант А).

Для грузового рычага в первом варианте исполнения максимальный угол поворота составляет 126°, минимальный – 35°. Разница составляет 91°. Во втором варианте исполнения разница между максимальным и минимальным углами поворота составляет 79,3°; в третьем варианте исполнения эта разница уже 65,6°. Снижение разницы углов поворота для второго варианта по сравнению с первым составляет почти 15 %, а третьего с первым – 38,7 %. Данные

значения говорят о том, что во втором и третьем вариантах для позиционирования грузового рычага понадобится меньше времени и затрат энергии на перемещение.

Найдем относительные изменения углов поворота грузового рычага для второго и третьего вариантов по отношению к первому, которые отразим в таблице 2.

Таблица 2 – Относительные изменения углов поворота грузового рычага

Наименование величины	Номер положения коровы в станке				
	1	2	3	4	5
Относительное изменение угла поворота, %	Второй вариант (вариант Б)				
	0,16	13,6	4,3	32,9	10
	Третий вариант (вариант В)				
	0,08	27,6	9,7	72,3	26,2

Анализируя данные таблицы 2, делаем вывод, что во всех положениях, за исключением 1-го, в третьем варианте исполнения идет двукратное увеличение относительного изменения углов поворота грузового рычага по сравнению со вторым вариантом исполнения. Отсюда можно сделать промежуточный вывод о более целесообразном применении в конструкции манипулятора второго варианта исполнения.

По аналогии определим разности между максимальными и минимальными значениями углов поворота для вспомогательного рычага. В первом варианте разница составляет 100,5°, во втором – 103,4°, в третьем – 120,8°. Изменение угла поворота во втором варианте по сравнению с первым составляет почти 3 %, а в третьем по сравнению с первым – 20 %. Для более ясного представления изменения углов поворота вспомогательного рычага во втором и третьем вариантах по отношению к первому варианту определим относительные изменения углов поворота рычага, а результаты расчетов занесем в таблицу 3.

Таблица 3 – Относительные изменения углов поворота вспомогательного рычага

Наименование величины	Номер положения коровы в станке				
	1	2	3	4	5
Относительное изменение угла поворота, %	Второй вариант (вариант Б)				
	–	1,7	5,4	2,9	4,2
	Третий вариант (вариант В)				
	–	14,2	20,6	20,2	17,9

Анализируя данные таблицы 3, можно сделать следующие выводы. Во втором варианте исполнения наименьшая разница составляет 1,7 %, наибольшая – 5,4 %. В третьем варианте исполнения наименьшая разница уже 14,2 %, а наибольшая – 20,6 %. Таким образом, в третьем варианте исполнения по сравнению со вторым вариантом отмечается многократное увеличение величины относительных изменений углов поворота вспомогательного рычага. Причем максимальное относительное изменение угла поворота рычага между вторым и первым вариантами немного превышает 5 %, что является незначительным отклонением и говорит в пользу применения второго варианта исполнения (варианта Б).

Все вышеизложенное говорит нам о том, что наиболее предпочтительным в использовании является второй вариант (вариант Б), для которого длина грузового рычага составляет 630 мм, а вспомогательного рычага – 380 мм.

Выводы.

1. Разработана трехмерная модель манипулятора роботизированной установки преддоильной подготовки вымени, схема которой представлена на рисунке 1.

2. В ходе проведения исследований определены габаритные размеры станка роботизированной установки преддоильной подготовки вымени, которые составляют 2500мм×900мм. Определены пять возможных положений коровы в станке, представленные на рисунке 2 и местоположение манипулятора относительно станка, представленное на рисунке 3.

3. Проведены кинематические исследования установки при различных положениях коровы в

станке, результаты которых представлены на рисунках 4, 5.

4. Определены положения рычагов манипулятора и углы их поворота, представленные в таблицах 1-3.

5. Проведен анализ результатов кинематического исследования манипулятора роботизированной установки преддоильной подготовки вымени, по результатам которого предложен вариант исполнения манипулятора с длинами рычагов: грузовой – 630 мм, вспомогательный – 380 мм.

6. Результаты проведённого исследования позволят приступить к созданию действующего прототипа манипулятора для изучения совместной работы его системы управления с системой позиционирования [13, 14, 15].

Список используемой литературы

1. Лачуга Ю.Ф., Баусов А.М., Воскресенский А.Н., Абалихин А.М. Теория механизмов и машин. Анализ, синтез, расчет. М.: Бибком, Транслог, 2015.

2. Неймарк А.М. Роботы на службе человека. М.: Наука, 1982.

3. Колесников Н.Е., Кошелева Т.Н. Промышленные роботы и их комплексы как важнейшая форма высокопроизводительных рабочих мест // Экономика и управление. 2014. № 10 (108). С. 29-32.

4. Мишуров Н.П., Соловьева Н.Ф., Цой Ю.А. Современные роботы в сельском хозяйстве // Техника и оборудование для села. 2010. № 5. С. 46-48.

5. Годжаев З.А., Гришанин А.П., Пехальский И.А. и др. Развитие работ по созданию робототехники сельхозназначения // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 119 (05).

6. Кормановский Л.П., Цой Ю.А., Кирсанов В.В. и др. Приоритетные направления роботизации процессов на молочных фермах // Техника и оборудование для села. 2017. № 12. С. 24-27.

7. Муханов Н.В., Крупин А.В., Барабанов Д.В., Сафонова Н.Н. Роботизированная установка преддоильной подготовки вымени // Аграрный вестник Верхневолжья. 2016. № 3. С. 100-104.

8. Пат. RU 176985 A01J 7/04. Установка преддоильной подготовки вымени / Д.В. Барабанов, Н.Н. Сафонова, Н.В. Муханов и др. № 2017109989; Опубл. 05.02.2018. Бюл. № 4

9. Крупин А.В., Муханов Н.В., Барабанов Д.В., Сафонова Н.Н. Доильный зал с роботизированной установкой преддоильной подготовки вымени // Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России: сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции с международным участием. 2017. С. 100-103.

10. Об актуальности роботизированных установок преддоильной подготовки вымени // Сельское хозяйство – драйвер российской экономики (для обсуждения и выработки решений): сборник научной конференции. Оргкомитет международной агропромышленной выставки – ярмарки "Агрорусь-2016". СПб., 2016.

11. Муханов Н.В., Крупин А.В., Барабанов Д.В., Сафонова Н.Н. О роботизации процесса подготовки вымени коров к доению // Качественный рост российского агропромышленного комплекса: возможности, проблемы и перспективы: материалы деловой программы XXVII международной агропромышленной выставки "Агрорусь-2018". СПб: СПб ГАУ, 2018. С. 256-258.

12. Хазанов Е.Е., Гордеев В.В., Хазанов В.Е. Технология и механизация молочного животноводства: учебное пособие, 2-е изд. стер. СПб.: Издательство «Лань», 2016.

13. Барабанов Д.В. Оптический способ наведения рабочего органа манипулятора роботизированной установки преддоильной подготовки вымени // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения: сборник науч. трудов. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. СПб., 2018. С. 318-322.

14. Барабанов Д.В., Муханов Н.В. Системы позиционирования рабочих элементов робототехники в животноводстве // Сельское хозяйство – драйвер российской экономики (для обсуждения и выработки решений): сборник научной конференции. Оргкомитет международной агропромышленной выставки – ярмарки "Агрорусь-2016". СПб., 2016.

15. Барабанов Д.В., Муханов Н.В. Обзор систем позиционирования применяемых при создании роботизированных установок // Наука и молодежь: новые идеи и решения в АПК: сборник материалов Всероссийских научно-методических конференций с международным участием. Иваново: Ивановская ГСХА, 2016. С. 233-235.

References

1. Lachuga Yu.F., Bausov A.M., Voskresenskiy A.N., Abalikhin A.M. Teoriya mekhanizmov i mashin. Analiz, sintez, raschet. M.: Bibkom, Translog, 2015.
2. Neymark A.M. Roboty na sluzhbe cheloveka. M.: Nauka, 1982.
3. Kolesnikov N.Ye., Kosheleva T.N. Promyshlennye roboty i ikh kompleksy kak vazhneyshaya forma vysokoproizvoditelnykh rabochikh mest // Ekonomika i upravlenie. 2014. № 10 (108). S. 29-32.
4. Mishurov N.P., Soloveva N.F., Tsoy Yu.A. Sovremennye roboty v selskom khozyaystve // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2010. № 5. S. 46-48.
5. Godzhaev Z.A., Grishanin A.P., Pekhalskiy I.A. i dr. Razvitie rabot po sozdaniyu robototekhniki selkhoznaznacheniya // Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. № 119 (05).
6. Kormanovskiy L.P., Tsoy Yu.A., Kirsanov V.V. i dr. Prioritetnye napravleniya robotizatsii protsessov na molochnykh fermakh // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2017. № 12. S. 24-27.
7. Mukhanov N.V., Krupin A.V., Barabanov D.V., Safonova N.N. Robotizirovannaya ustanovka preddoilnoy podgotovki vymeni // Agrarnyy vestnik Verkhnevolzhya. 2016. № 3. S. 100-104.
8. Pat. RU 176985 A01J 7/04. Ustanovka preddoilnoy podgotovki vymeni / D.V. Barabanov, N.N. Safonova, N.V. Mukhanov i dr. Opubl. 05.02.2018., Byul. № 4.
9. Krupin A.V., Mukhanov N.V., Barabanov D.V., Safonova N.N. Doilnyy zal s robotizirovannoy ustanovkoy preddoilnoy podgotovki vymeni // Agrarnaya nauka v usloviyakh modernizatsii i innovatsionnogo razvitiya APK Rossii: sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. 2017. S. 100-103.
10. Ob aktualnosti robotizirovannykh ustanovok preddoilnoy podgotovki vymeni // Selskoe khozyaystvo – drayver rossiyskoy ekonomiki (dlya obsuzhdeniya i vyrabotki resheniy): sbornik nauchnoy konferentsii. Orgkomitet mezhdunarodnoy agropromyshlennoy vystavki – yarmarki "Agrorus-2016". SPb., 2016.
11. Mukhanov N.V., Krupin A.V., Barabanov D.V., Safonova N.N. O robotizatsii protsessa podgotovki vymeni korov k doeniyu // Kachestvennyy rost rossiyskogo agropromyshlennogo kompleksa: vozmozhnosti, problemy i perspektivy: Materialy delovoy programmy XXVII mezhdunarodnoy agropromyshlennoy vystavki "Agrorus-2018". SPb: SPb GAU, 2018. S. 256-258.
12. Khazanov Ye.Ye., Gordeev V.V., Khazanov V.Ye. Tekhnologiya i mekhanizatsiya molochnogo zhivotnovodstva: Uchebnoe posobie / Pod obshch. red. Ye.Ye. Khazanova. 2-e izd. ster. SPb.: Izdatelstvo «Lan», 2016.
13. Barabanov D.V. Opticheskiy sposob navedeniya rabochego organa manipulyatora robotizirovannoy ustanovki preddoilnoy podgotovki vymeni // Nauchnoe obespechenie razvitiya APK v usloviyakh importozameshcheniya: sbornik nauch. trudov. Ministerstvo selskogo khozyaystva Rossiyskoy Federatsii, Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. SPb., 2018. S. 318-322.
14. Barabanov D.V., Mukhanov N.V. Sistemy pozitsionirovaniya rabochikh elementov robototekhniki v zhivotnovodstve // Selskoe khozyaystvo – drayver rossiyskoy ekonomiki (dlya obsuzhdeniya i vyrabotki resheniy): sbornik nauchnoy konferentsii. Orgkomitet mezhdunarodnoy agropromyshlennoy vystavki – yarmarki "Agrorus-2016". SPb., 2016. S. 309.
15. Barabanov D.V., Mukhanov N.V. Obzor sistem pozitsionirovaniya primenyaemykh pri sozdanii robotizirovannykh ustanovok // Nauka i molodezh: novye idei i resheniya v APK: sbornik materialov Vserossiyskikh nauchno-metodicheskikh konferentsiy s mezhdunarodnym uchastiem. 2016. Ivanovo: Ivanovskay GSHA, S. 233-235.

УДК 631.365

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕХНОЛОГИЙ ЗАГОТОВКИ КАЧЕСТВЕННОГО ОБЪЕМИСТОГО КОРМА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Никитин Л.А., Северо-Западный НИИ молочного и лугопастбищного хозяйства – обособленное подразделение ФГБУН «Вологодский научный центр РАН»;
Углин В.К., Северо-Западный НИИ молочного и лугопастбищного хозяйства – обособленное подразделение ФГБУН «Вологодский научный центр РАН»;
Никифоров В.Е., Северо-Западный НИИ молочного и лугопастбищного хозяйства – обособленное подразделение ФГБУН «Вологодский научный центр РАН»;
Маклахов А.В., Северо-Западный НИИ молочного и лугопастбищного хозяйства – обособленное подразделение ФГБУН «Вологодский научный центр РАН»

Основной причиной низкой рентабельности животноводства является недостаточное качество грубых кормов. Применяемые сегодня в подотраслях животноводства технологии, а также кормовая база не обеспечивают реализацию имеющегося генетического потенциала животных, характеризуются высокими затратами труда, энергии и др. ресурсов, не в полной мере учитываются климатические условия, не являются экологичными и ресурсосберегающими. Для определения наилучшего решения заготовки качественного корма с энергетической, экономической, экологической точек зрения в статье выполнен системный анализ существующих технологий заготовки корма, а также современных методов и способов удаления влаги аналогичных материалов. Аналитический обзор информации по рассматриваемой теме показал, что процесс сушки объемистого корма из растительного материала в рулонах и кипах с использованием вакуумного способа удаления влаги до сих пор не изучался и не получил практического опыта. Учитывая преимущества вакуумного метода, используемого для сушки аналогичных сену материалов (дерево, лекарственные растения и т.д.), предложена гипотеза по использованию для сушки сена вакуумно-импульсного способа удаления влаги, на который получен патент № 2476085 на изобретение. Способ основан на создании определенных циклов сушки, включающих нагрев растительного материала с последующим скоростным вакуумированием с нагревом, выдержкой под вакуумом с прогревом материала по всему объему. Время каждого цикла определяется моментом наступления установившихся показаний влажности продукта при возникновении равновесного давления насыщенного пара в вакуумной сушильной камере. Применение предложенного способа сушки сена в рулонах в вакуумной сушильной камере позволит сократить время сушки, снизить энергетические затраты, получить высококачественное сено, исключить необходимость применения дорогостоящего и громоздкого оборудования.

Ключевые слова: *технология сушки, вакуум, качество, корм, сено, энергозатраты.*

Для цитирования: *Никитин Л.А., Углин В.К., Никифоров В.Е., Маклахов А.В. Состояние и перспективы технологий заготовки качественного объемистого корма в условиях Северо-Запада Российской Федерации // Аграрный вестник Верхневолжья. 2018. № 4 (25). С. 109-117*

Введение. В Северо-Западном регионе России основной отраслью сельскохозяйственного производства является животноводство. В общем объёме товарной продукции на его долю приходится около 70 %. На современном этапе эта отрасль характеризуется все возрастающими требованиями к увеличению производства продукции, улучшению ее качества и снижению себестоимости. В то же время рациональное ведение молочного животноводства воз-

можно лишь при успешном использовании имеющихся местных кормов и правильном балансировании рационов по органическим и минеральным веществам в соответствии с современными представлениями о нормированном питании [1, с. 16-19, 2].

Применяемые сегодня в подотраслях животноводства технологии, а также кормовая база не обеспечивают реализацию имеющегося генетического потенциала животных, характеризуются высокими затратами труда, энергии и др. ресурсов, не в полной мере учитываются климатические условия, не являются экологичными и ресурсосберегающими. Основной причиной низкой рентабельности животноводства является недостаточное качество грубых кормов, выражающееся в низкой концентрации обменной энергии в сухой массе (в среднем по России – 8,5 МДж). Компенсация этого показателя производится за счет включения в рационы коров больших количеств концентрированных кормов (до 60 % по питательности), что может привести к расстройству здоровья животных, снижению продуктивного долголетия и увеличению затрат на корма.

Из-за неустойчивых климатических условий не всегда можно получить качественный хороший урожай. Например, по статистическим данным в Вологодской области произошло заметное снижение заготовки сена с 108221 тыс. тон в 2010 году и 75,4 тыс. тон в 2015 году до 63441 тыс. тон в 2017 году. Качественные показатели объемистого корма также находятся на низком уровне и составляют (по данным ФГУП ГЦАС «Вологодский») неклассного сена в 2010 году 47,2 %, в 2015 году 87,9 %, в 2017 уже 90 %. [3, с. 6-16].

На сегодняшний день отсутствуют предложения по коренному изменению технологии заготовки сена. Поэтому создание новых эффективных технологий заготовки сена и его сушки, обеспечивающей получение конечного продукта с высокими качественными показателями, является важнейшей задачей в кормопроизводстве.

Цель и метод исследований. Метод исследований для определения наилучшего решения заготовки качественного корма с энергетической, экономической, экологической точек зрения включает теоретический и аналитический обзор литературных и научных источников, а также патентных материалов существующих технологий заготовки корма и современных методов и способов удаления влаги аналогичных материалов.

Результаты исследований. Сено является одним из наиболее важных кормов в стойловый период, в нем содержится протеин, сахар, витамины, минеральные и другие вещества, необходимые для нормального развития организма животных и повышения их продуктивности. В зимний период именно из сена животные могут получить около половины кормовых единиц и переваримого протеина. По питательности лучшие сорта сена приближаются к концентратам, худшие не отличаются от яровой соломы.

Сено заготавливают из целых растений в стадии цветения с большим содержанием клетчатки, поэтому оно имеет низкое содержание обменной энергии, но идеально подходит и незаменимо для рубцовой ферментации. При замене сена значительным количеством силоса и концентратов животные заболевают ацидозом, ведущим к раннему самозапуску молочных коров, резко снижающим воспроизводительную способность и рост животных.

Требования к сену регламентируются отраслевым стандартом ОСТ 10243-2000. Цвет сена должен быть: сеяного бобового (бобово-злакового) - от зеленого и зеленовато-желтого до светло-бурого; сеяного злакового сена и естественных кормовых угодий - от зеленого до желто-зеленого (зелено-бурого). В сене из сеяных трав и трав естественных кормовых угодий массовая доля сухого вещества должна составлять не менее 83 % (влага не более 17 %). Массовая доля золы, нерастворимой в соляной кислоте, не должна превышать 0,7 %.

Сено, содержащее вредные и ядовитые растения сверх установленных норм, а также с признаком порчи (плесневения, затхлости, гниения), относят к неклассному [4,5].

На практике применяются всевозможные методы консервирования кормов, имеющие разную эффективность. Существующие методы заготовки сена отличаются технологией производства, системой машин, организацией труда.

Как известно, в процессе заготовки впрок кормов из зеленой массы они подвергаются биологическим, ферментативным и микробио-

логическим изменениям, которые могут привести к их порче. Одним из методов сохранения корма является метод искусственной или естественной сушки. Естественная сушка длительна и зависит от погодных условий, что особенно актуально для условий Северо-Запада Российской Федерации.

Продолжительность сушки в поле влияет на качество и питательность сена. Замедление процесса отделения влаги происходит уже после первого дня, когда влажность травы достигает 30-31 %. Дальнейшее нахождение растительной массы в поле (технология полевой сушки рассыпного сена) влечет за собой значительные потери питательных веществ. Общие потери сена от всей скошенной травяной массы могут достигать 40...50 %.

Особенно заметны изменения в сене, пролежавшем сутки под дождем или убранном на четвертые сутки после скашивания. Такое сено утрачивает до 25 % протеина, содержание в нем каротина уменьшается в 4 раза, а количество клетчатки возрастает на 15...20 % [6, 7, 8].

Существуют также технологии, убыстряющие сушку травяной массы. Технология плющения бобово-злаковых травосмесей при скашивании увеличивает скорость влагоотдачи до 40 %, но практически не дает эффекта в чистых злаковых посевах. Для этих же целей американские фермеры применяют специальные химический кислоты при кошении трав или непосредственно в пресс-подборщиках при уборке. [9].

В последние годы было признано, что наиболее эффективной технологией заготовки сена является его прессование в рулоны. Это позволяет улучшить сохранность, уменьшить затраты труда при заготовке и перевозке. При заготовке прессованного сена в 2-2,5 раза сокращаются потери листьев. Однако при применении рулонной технологии заготовки сена существует сдерживающий фактор - относительно узкий диапазон влажности прессуемой массы (18-22 %). Данный фактор не всегда удается выдержать, в том числе и при благоприятных условиях. А при более высоком содержании влаги корм начинает портиться, возникает явление «самосогревания», связанное с жизнедеятельностью микроорганизмов [6,10, с. 40-41, 11].

Чтобы сократить время нахождения высушиваемой зеленой массы в поле и уменьшить тем самым механические потери, а также потери от биохимических процессов, развития микроорганизмов и вымывания дождями растворимых питательных веществ, применяют активное (принудительное) вентилирование массы, уложенной на хранение значительно раньше, чем она достигнет влажности готового сена. Досушивание сена активным вентилированием применяется почти во всех зонах страны при заготовке рассыпного, измельченного и прессованного сена. В России промышленные установки активного вентилирования в настоящее время не производятся, а в хозяйствах используются или старые, или самодельные конструкции.

Заготовка грубых кормов в крупных рулонах и тюках с досушкой активным вентилированием широко распространена и в мировой практике. Например, современные немецкие установки для досушивания сена имеют производительность 48 рулонов в день с расходом мощности на один рулон 4-6 кВт. Качественное сено получают и при использовании технологии «AgriCompact Technologies GmbH». Для реализации такой технологии необходимо устройство целой сети подземных воздуховодов и надземных построек [12,13].

Недостатками данных технологий являются высокие трудо и энергозатраты; необходимость соблюдения режимов работы установок для досушивания сена, так как для оптимального досушивания сена температура подогретого воздуха не должна превышать 50-60 °С, а относительная влажность подаваемого воздуха не должна превышать 70 %; пересушивание сена до влажности менее 17 % приводит к увеличению затрат энергии, в то время как пересушенная масса будет впитывать влагу из окружающего воздуха [14].

Сравнительная оценка разных технологий заготовки сена показывает, что потери сухого вещества бывают наименьшими (чем меньше потери сухого вещества, тем качественнее сено) при досушке провяленной массы активным вентилированием. При заготовке рассыпного сена полевой сушки они составляют 35...50 %, при искусственном вентилировании массы холодным воздухом - 20...30, подогретым воздухом - 15...20, при заготовке прессованного сена полевой сушки - 30...35 % [6,15, с. 41-42].

Из существующих технологий приготовления сена самой совершенной по сохранности питательных веществ и получению более качественного корма по энергетической и протеиновой питательности является досушивание прессованных провяленных трав (влажность 30-35 %) активным вентилированием. Оптимальная плотность тюков при этом не должна превышать 110-130 кг/м^3.

Досушивание сена возможно на специализированных площадках или в помещениях (камерах). Методы и технологии досушивания должны обеспечивать максимальную сохранность качества продукта, а также высокую эффективность процесса. То есть процесс сушки должен быть оптимизирован – осуществляться при минимальной затрате тепла и при сохранении химико-технологических показателей сырья.

Сушка – это довольно сложный технологический процесс, одним из основных элементов которого является процесс тепломассообмена. Совершенствование тепломассообмена на современном этапе может быть обеспечено снижением относительной влажности сушильного агента, увеличением поверхности соприкосновения продукта и сушильного агента, комбинированным подводом тепла, повышением скорости агента, сочетанием сушки с замораживанием, вакуумированием, вспениванием и т.п. [16].

Процесс сушка подчиняется определенным закономерностям:

1. Первый закон: скорость циркуляции воды в значительной степени зависит от температуры сушки, связывает же эти показатели экспоненциальная зависимость (табл.1).

2. Второй закон: скорость циркуляции воды зависит от степени вакуума в сушильной камере (таблица 2).

3. Третий закон: вода движется из мест, имеющих высокую температуру, к местам с низкой температурой. Таким образом, для облегчения движения воды из середины материала к ее поверхности температура в сердцевине должна быть выше, чем температура поверхности.

4. Четвертый закон: влага движется из более насыщенных влагой зон к более обезвоженным участкам.

Кроме того, всегда рекомендуется принимать во внимание следующий важный закон физики, хоть он и не имеет отношения к циркуляции воды: температура испарения (кипения) воды зависит от давления (таблица 3).

Таблица 1 – Зависимость скорости циркуляции воды от температуры

№ пп.	Влажность %	Температура сушки °С	Коэффициент циркуляции 10^{-5}см/сек
1	50	25	0,257
2	50	40	0,398
3	50	50	0,558
4	50	60	0,729
5	50	80	1,315

Таблица 2 – Зависимость циркуляции воды от давления

№ пп.	Температура °С	Давление Мм Hg	Коэффициент циркуляции 10^{-5}см/сек
1	40	760	0,38
2	40	480	0,41
3	40	240	0,60
4	40	120	0,83
5	40	62	1,315

Таблица 3 – Зависимость температура кипения воды от давления

№ пп.	Давление мм рт.ст.	Температура испарения °С
1	760	100
2	304	75,4
3	152	59,7
4	76	45,4
5	38	32,5
6	7,6	6,6

Известно, что вода кипит при температуре 100°С при атмосферном давлении. Температура кипения может быть понижена путем уменьшения давления (то есть путем создания вакуума) [17].

Современные исследования процесса сушки сырья свидетельствуют о том, что массообменные и тепловые процессы зачастую сопровождаются течением реакций окисления, изменением структурно-физических свойств, что приводит к частичной потере или полной утрате пищевой ценности продукта. Поэтому главной целью сушки является не только удалить влагу из сырья, но и максимально сохранить биологически активные вещества исходного сырья – органические кислоты, полифенолы, витамины. Также при сушке сырья требуется сохранить исходную энергетику продукта: углеводы, сахара, а также протеин.

Из практики известно, что процесс сушки растительных материалов, не вызывающий денатурацию исходных характеристик, протекает при температуре не более 60°С [16]. Данные о влиянии вакуума на качество корма в исследованиях не выявлены.

Технологии сушки, применяемые в настоящее время, разнообразны и классифицируются по различным признакам: по виду теплоносителя, по виду объекта сушки, по конструктивным особенностям оборудования и т.д. Наиболее актуально технологии разделяются на 2 категории: первая - нормального давления – сушка при атмосферном давлении, вторая - вакуумные - сушка в разряженной среде.

Существующий конвективный способ досушивания сена относится к категории нормального давления. Способ отличается простотой, возможностью регулирования температуры материала. В качестве сушильного агента используется нагретый воздух, который является и влагопоглотителем. Испарение находящейся в продукте влаги идет за счет сообщаемой продукту тепловой энергии, а пары влаги уносятся сушильным агентом. Установки имеют высокие удельные энергозатраты (от 1,6 до 3,32 кВт-ч/кг) [18]. Сушка сопровождается потерями тепла на нагрев конструкций и окружающей среды; также снижается качество конечного продукта: изменяется цвет, вкус и естественный аромат продукта. Высокая температура и высокая продолжительность сушки способствуют окислительным процессам и приводят к потерям в продукте витаминов и биологически активных веществ. Важную роль при конвективной сушке играют параметры сушильного агента, толщина слоя материала и его плотность. Недостаток способа связан с тем, что градиент температуры направлен в сторону противоположную градиенту влагосодержания, что способствует торможению удаления влаги. Другим недостатком конвективного способа сушки являются относительно небольшие величины коэффициента теплоотдачи от сушильного агента к поверхности материала.

Технологии сушки с применением вакуума считаются достаточно новыми технологиями, хотя первый патент по сушке древесины с помощью вакуума относится к 1883 году. Вакуумная сушка применяется во многих областях промышленности, в частности пищевой. Технология вакуумной сушки используется для высушивания самых разных пищевых продуктов: хлебобулочных и мясных изделий, гидролизных овощей, концентратов соков, растительных экстрактов, напитков [19]. Для непищевых отраслей применяется при сушке пило-

материалов, минеральных удобрений, лекарственных растений.

На сегодняшний день существует два способа вакуумной сушки пищевых продуктов: вакуумная сушка при положительной температуре высушиваемого продукта (холодная вакуумная сушка) и вакуумная сушка при отрицательной температуре высушиваемого продукта (вакуумная сублимационная сушка) [19].

Преимущество сушки в вакууме в том, что повышается интенсивность сушки при низких температурах. Сушка при низких температурах предотвращает нежелательные последствия высокого нагрева материала разложение и окисление [19]. Процесс сушки происходит при относительно незначительных энергозатратах (600 кВт на 1 тонну воды) [18].

Сушка при отрицательной температуре производится при глубоком вакууме (13,3-133,3 Па). Вода при этом будет находиться в состоянии льда, и будет иметь место испарение твердого тела без его плавления (сублимация). При сушке сублимацией не происходит денатурации белков, не имеют места микробиологические процессы, сохраняются полностью все витамины, содержащиеся в свежем продукте. Однако такие технологии дорогостоящие и очень энергозатратные с относительно низкой производительностью [19].

Одна из основных задач при вакуумной сушке - это подвод тепловой энергии к материалу. Существующие методы: конвективный, кондуктивный (контактный), терморадиационный (тепловое излучение), высокочастотный (СВЧ, ТВЧ). Эти методы и определены ключевыми признаками описания объекта исследования при проведении мониторинга технологий сушки материалов. Вторым ключевым признаком мониторинга является назначение технологии (сфера использования). В результате проведённого мониторинга установлено, что:

- технологии сушки с использованием вакуума наибольшее распространение имеют при сушке пиломатериалов;
- вакуумная сушка при заготовке сена не используется;
- основные методы подвода тепла к материалу конвективный и кондуктивный;
- технологии вакуумной сушки для различных материалов схожи друг с другом (основное отличие в объёмах проводимых операций).

Кондуктивный метод подвода тепла для сушки сена малоэффективен, поэтому конвективный метод рассматривается как перспективный для дальнейшего изучения процесса.

Весь широкий спектр вакуумных технологий сушки с подводом тепловой энергии конвекцией можно классифицировать следующим образом:

- «импульсные» технологии, сушильный процесс в которых складывается из последовательно чередующихся стадий прогрева материала и вакуумирования;
- конвективная сушка материала при пониженном давлении среды;

Сущность «импульсных» технологий заключается в проведении сушильного процесса циклически. На первой стадии цикла материалу передается тепловая энергия, материал обдувается горячим теплоносителем при давлении среды, равном или близком к атмосферному. В этот период температура материала повышается, что сопровождается испарением влаги с ее поверхности. Влажность несколько снижается. Движение влаги внутри материала проходит под действием градиента влажности. Стадия «импульса» длится до прогрева материала в центре до температуры, превышающей температуру кипения воды при пониженном давлении на стадии вакуумирования.

На второй стадии, стадии вакуумирования, начинается интенсивное испарение влаги с поверхности материала. Температура поверхности снижается, быстро достигает температуры кипения, а затем продолжает падать. В полостях клеток происходит вскипание воды, образовавшийся водяной пар движется к поверхности под избыточным давлением [20].

Одной из разновидностей «импульсной» технологии является сушка материала «сбросом» давления. Физической основой этого метода является максимальное использование эффекта от интенсивного молярного переноса пара, возникающего после предварительного прогрева влажного материала под давлением и последующего быстрого его снижения до давления ниже атмосферного, с этой целью используется вакуумный ресивер. В момент «сброса» давления во всем объеме тела происходит бурное вскипание влаги, между центром и поверхностью образца образуется перепад давления,

способствующий формированию направленного к поверхности частицы потока влаги в виде пара. На своем пути поток пара увлекает капельки жидкости, а при встрече со сплошными водяными пробками проталкивает их к поверхности образца. Регулируя процесс вскипания, то есть скорость понижения давления среды, можно добиться, чтобы вместе с паром из материала удалялось до 40% влаги в жидком виде.

Однако при резком «сбросе» давления существует опасность разрушения или видоизменения структуры материала, поэтому данный метод нуждается в дополнительном исследовании процесса [20].

Применение СВЧ- нагрева также может быть использовано при сушке сена.

Принцип действия СВЧ-сушки состоит в разогреве материала с помощью энергии электромагнитного поля сверхвысоких частот за счет частого изменения направления движения молекул и их сталкивания, что вызывает межмолекулярное трение [21].

Достоинствами СВЧ-технологии являются быстрота прогрева и способность СВЧ-поля проникать в материал на значительную глубину (что как раз необходимо для рулонов сена), возможность выравнивания уровня влажности, возможность высокой концентрации энергии в единице объема, возможность рассеивания и концентрирования энергии внутри материала, а также независимость времени нагрева до заданной температуры от объема и формы изделия [21,22, с. 62-65].

Основные результаты. На сегодняшний день самое широкое распространение получила вакуумная сушка древесины. Сушка пиломатериалов наиболее отработана как с технологической, так и с технической стороны.

Внутреннее строение древесины во многом схоже с травой. Травы – это растения, чьим основным отличием является то, что у них нет одеревеневшего ствола. Исходная влажность дерева и травы примерно одинакова (около 80 %). Высушенное дерево имеет влажность 8-12 %, сено 16-17 %. Проведя аналогию исходных признаков сырья, в исследованиях смоделирована и аналогия (схожесть) технологий сушки.

Процесс сушки объемистого корма из растительного материала в рулонах и кипах с использованием вакуумного способа удаления влаги до сих пор не изучался и не получил практического опыта.

Выводы и предложения. На основании изложенных фактов существует возможность совершенствования процесса заготовки сена на основе научной гипотезы использования вакуума и создания новой технологии досушивания сена на этой основе.

Учитывая преимущества вакуумной сушки, в СЗНИИМЛПХ разработан новый способ сушки волокнистых прессованных материалов и получен патент № 2476085 на изобретение [23]. Способ основан на создании определенных циклов сушки, включающих нагрев растительного материала с последующим скоростным вакуумированием с нагревом, выдержкой под вакуумом с прогревом материала по всему объему. Время каждого цикла определяется моментом наступления установившихся показаний влажности продукта при возникновении равновесного давления насыщенного пара в вакуумной сушильной камере.

Научно-практическое обоснование характеризует разработку усовершенствованной технологии получения высококачественного объемистого корма с использованием вакуумно-импульсного способа удаления влаги. Нагрев растительного материала с последующим вакуумированием растительного материала составляют один цикл сушки. Количество циклов может быть многократным для достижения кондиционной влажности сена 17 %.

Применение предложенного способа сушки сена в рулонах в вакуумной сушильной камере позволит сократить время сушки, снизить энергетические затраты, получить высококачественное сено, исключить необходимость применения дорогостоящего и громоздкого оборудования.

Список используемой литературы

1. Волгин В.И., Романенко Л.В., Бибикова А.С., Морозов Н.Н. Система кормления высокопродуктивных коров // Зоотехния. 2000. № 8. С. 16-19.

2. Калашников А.П., Щеглов В.В., Первов Н.Г. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. М.: Колос, 2003.

3. Маклахов А.В., Углин В.К., Коновалова Н.Ю., Никифоров В.Е. Состояние и перспективы развития кормопроизводства Вологодской

области // Адаптивное кормопроизводство. 2016. № 1. С. 6-16.

4. ГОСТ Р 55452-2013 Сено и сенаж. Технические условия (с поправкой). URL: http://docs.cntd.ru/document/1200103502 (дата обращения 26.06.2018).

5. Мотивалов К.Я. Экспертиза кормов и кормовых добавок. Новосибирск: Сиб. университет, 2004.

6. Новые технологии производства сена методом активного вентилирования. URL: http://www.f-mx.ru/selskoe_lesnoe_xozyajstvo_i /novye_texnologii_proizvodstva_sena.html (дата обращения 26.06.2018)

7. Karin Lindquist. How Rain Affects Hay Quality - Frequently Asked Questions. URL:http:// www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/faq14011 (дата обращения 26.06.2018).

8. Gary Bates. High-quality Hay Production. URL: http:// extension.tennessee.edu/publications/ documents/sp437-a.pdf (дата обращения 26.06.2018).

9. Ronald Florence. Haying FAQ. URL: http://www.sheepscreek.com/rural/hay.html#copyright (дата обращения 26.06.2018).

10 Ахламов Ю. Заготовка кормов в рулонах // Животноводство России. 2003. № 6. С. 40-41.

11. Технология заготовки сена в рулонах. URL: http://urozhayna-gryadka.narod.ru/korm_v_rylonah.htm (дата обращения 26.06.2018).

12. Установка для сушки сена. URL: http://himel-asia.kz/ustanovka-dlya-sushki-sena/ustanovka-dlya-sushki-sena.html (дата обращения 26.06.2018).

13. AgriCompact Technologies GmbH. URL: http://www.agricompact-technologies.com/faq/ (дата обращения 26.06.2018).

14. Активное вентилирование сена. URL: http://neznaniya.net/zooinzhenerija/kormoproizvodstvo/ 283-aktivnoe-ventilirovanie-sena.html (дата обращения 26.06.2018).

15. Тяпугин Е.А., Углин В.К., Никифоров В.Е., Креминская Л.И. Научно-практические требования по производству высококачественных кормов из трав // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 1. С. 41-42.

16. Классификация способов сушки. URL: https://infopedia.su/16x6fd5.html (дата обращения 26.06.2018).

17. Технология вакуумной сушки: современное состояние и новые тенденции развития // Новости деревообработки. URL: http://wood.nestormedia.com/index.pl?act=PRODUCT&id=1 (дата обращения 26.06.2018).

18. Технологии сушения для производства кормов // Агровестник. Кормопроизводство 16.05.2017. URL: https://agrovesti.net/ kormoproizvodstvo/technologii_ susheniya_dlya_ proizvodstva _kormov.html (дата обращения 26.06.2018)

19. Чагин О.В., Кокина Н.П., Пастин В.В. Оборудование для сушки пищевых продуктов Иваново: Иван. хим. технол. ун-т, 2007.

20. Сафин Р.Р. Технологические режимы вакуумной сушки пиломатериалов при конвективных методах подвода тепла // Деревообрабатывающая промышленность. 2016. URL: http://dop1952.ru/statues-statue_id-3.html (дата обращения 26.06.2018).

21. СВЧ технологии для сушки древесины // Новости деревообработки. URL: http://wood.nestormedia.com/index.pl?act=PRODUCT&id=11 (дата обращения 26.06.2018).

22. Гареев Ф.Х. Нетрадиционная сушка древесины: вакуумная и СВЧ // Лесная промышленность ЛПИ. 2004. № 5 (18). С. 62-65. URL: http://www.svch-tehnologii.ru/pdf/lesprom05-04.pdf (дата обращения 26.06.2018).

23. Пат. 2476085 РФ. МПК A23K 3/02, A23B 7/00. Способ сушки волокнистых прессованных материалов / Углин В.К. (RU), Никифоров В. Е., Тяпугин Е.А., Тяпугин С.Е.; заявитель и патентообладатель Государственное научное учреждение "Северо-западный научно-исследовательский институт молочного и лугопастбищного хозяйства" (RU) - № 2010154629/13; опубл. 27.02.2013. Бюл. № 6.

References

1. Volgin V.I., Romanenko L.V., Bibikova A.S., Morozov N.N. Sistema kormleniya vysokoproduktivnykh korov // Zootekhniya. 2000. № 8. S. 16-19.

2. Kalashnikov, A.P., Shcheglov V.V., Pervov N.G. Normy i ratsiony kormleniya selskokhozyaystvennykh zhivotnykh. M.: Kolos, 2003.

3. Maklakhov A.V., Uglin V.K., Konovalova N.Yu., Nikiforov V.Ye. Sostoyanie i perspektivy razvitiya kormoproizvodstva Vologodskoy oblasti // Adaptivnoe kormoproizvodstvo. 2016. № 1. S. 6-16.

4. GOST R 55452-2013 Seno i senazh. Tekhnicheskie usloviya (s popravkoy). URL: http://docs.cntd.ru/document/1200103502 (data obrashcheniya 26.06.2018)

5. Motivalov K.Ya. Ekspertiza kormov i kormovykh dobavok. Novosibirsk.: Sib. universitet, 2004.

6. Novye tekhnologii proizvodstva sena metodom aktivnogo ventilirovaniya. URL: http://www.f-mx.ru/selskoe_lesnoe_xozyajstvo_i/novye_texnologii_proizvodstva_sena.html (data obrashcheniya 26.06.2018)

7. Karin Lindquist. How Rain Affects Hay Quality - Frequently Asked Questions. URL:http:// www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/faq14011 (data obrashcheniya 26.06.2018).

8. Gary Bates. High-quality Hay Production. URL: http:// extension.tennessee.edu/publications/ documents/sp437-a.pdf (data obrashcheniya 26.06.2018).

9. Ronald Florence. Haying FAQ. URL: http://www.sheepscreek.com/rural/hay.html#copyright (data obrashcheniya 26.06.2018).

10. Akhlamov Yu. Zagotovka kormov v rulonakh // Zhivotnovodstvo Rossii. 2003. № 6. S. 40-41.

11. Tekhnologiya zagotovki sena v rulonakh. URL: http://urozhayna-gryadka.narod.ru/korm_v_rylonah.htm (data obrashcheniya 26.06.2018).

12. Ustanovka dlya sushki sena. URL: http://himel-asia.kz/ustanovka-dlya-sushki-sena/ustanovka-dlya-sushki-sena.html (data obrashcheniya 26.06.2018).

13. AgriCompact Technologies GmbH. URL: http://www.agricompact-technologies.com/faq/ (data obrashcheniya 26.06.2018).

14. Aktivnoe ventilirovanie sena. URL: http://neznaniya.net/zooinzhenerija/kormoproizvodstvo/283-aktivnoe-ventilirovanie-sena.html (data obrashcheniya 26.06.2018).

15. Tyapugin Ye.A., Uglin V.K., Nikiforov V.Ye., Kreminskaya L.I. Nauchno-prakticheskie trebovaniya po proizvodstvu vysokokachestvennykh kormov iz trav // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2011. № 1. S. 41-42.

16. Klassifikatsiya sposobov sushki. URL: https://infopedia.su/16x6fd5.html (data obrashcheniya 26.06.2018).

17. Tekhnologiya vakuumnoy sushki: sovremennoe sostoyanie i novye tendentsii razvitiya // Novosti derevoobrabotki. URL: http://wood.nestormedia.com/index.pl?act=PRODUCT&id=1 (data obrashcheniya 26.06.2018).

18. Tekhnologii susheniya dlya proizvodstva kormov // Agrovestnik. Kormoproizvodstvo 16.05.2017. URL: https://agrovesti.net/ kormoproizvodstvo/technologii_susheniya_dlya_proizvodstva_kormov.html (data obrashcheniya 26.06.2018)

19. Chagin O.V., Kokina N.P., Pastin V.V. Oborudovanie dlya sushki pishchevykh produktov. Ivanovo: Ivan. khim. tekhnol. un-t, 2007.

20. Safin R.R. Tekhnologicheskie rezhimy vakuumnoy sushki pilomaterialov pri konvektivnykh metodakh podvoda tepla // Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost. 2016. URL: http://dop1952.ru/statues-statue_id-3.html (data obrashcheniya 26.06.2018).

21. SVCh tekhnologii dlya sushki drevesiny // Novosti derevoobrabotki. URL: http://wood.nestormedia.com/index.pl?act=PRODUCT&id=11 (data obrashcheniya 26.06.2018).

22. Gareev F.Kh. Netraditsionnaya sushka drevesiny: vakuumnaya i SVCh // Lesnaya promyshlennost LPI. 2004. № 5 (18). S. 62-65. URL: http://www.svch-tehnologii.ru/pdf/ les-prom05-04.pdf (data obrashcheniya 26.06.2018).

23. Pat. 2476085 Rossiyskaya Federatsiya. MPK A23K 3/02, A23B 7/00. Sposob sushki voloknistykh pressovannykh materialov / Uglin V.K. (RU), Nikiforov V. Ye., Tyapugin Ye.A., Tyapugin S.Ye.; zayavitel i patentoobladatel Gosudarstvennoe nauchnoe uchrezhdenie "Severo-zapadnyy nauchno-issledovatelskiy institut molochnogo i lugopastbishchnogo khozyaystva" (RU) - №2010154629/13; zayavl. 30.12.2010; opubl. 27.02.2013.