

Рис. 1. Номограмма для определения оптимальных режимов работы валковой жатки ЖТ-6 от состояния хлебной массы

**Выводы**

Установлена зависимость изменения потерь зерна жатки ЖТ-6 в агрегате с трактором МТЗ-1522В при скашивании хлебной массы от её полеглости, засорённости и скорости жатки.

Получены уравнения, позволяющие определить скорость и частоту вращения мотопила жатки ЖТ-6 в агрегате с трактором МТЗ-1522В при различных состояниях хлебной массы, обеспечивающие допустимые агротехническими требованиями потери зерна (не более 0,5%).

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
2. Блохин, А.В. Теория эксперимента: курс лекций в 2 ч. / А.В. Блохин. – Минск: БГУ, 2002. – Ч. 2. – 67с.
3. Иванцов, В.И. Валковые жатки / В.И. Иванцов, О.И. Солощенко. – М.: Машиностроение, 1984. – 200 с.

УДК 631.34:634.739.2

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 15.03.2010

**ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СРЕДСТВА ДЛЯ УХОДА ЗА КЛЮКВЕННЫМ ПОКРОВОМ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЛАНТАЦИИ**

Л.В. Мисун, докт. техн. наук, профессор, А.Н. Леонов, докт. техн. наук, профессор (БГАТУ); В.В. Азаренко, докт. техн. наук, доцент (НАН Беларуси); А.Л. Мисун, студент (БГАТУ)

**Аннотация**

*Предлагается усовершенствованная конструкция и оптимальные режимы работы технического средства для ухода за клюквенным покровом чека – поднятие, расчесывание и обрезка стелющихся побегов крупноплодной клюквы, используемых для восстановления существующих и закладки новых чеков промышленной плантации.*

*The article offeres and gives proof of the improved design and regime for technical means for care of the cranberry covered check – raising, combing and cutting large – fruited cranberry spreading sprout. They are used for regeneration of the existed checks and laying of the new ones for industrial plantations.*

**Введение**

В начале XIX века один из предприимчивых фермеров штата Массачусетс (США) попробовал выращивать крупноплодную клюкву на своем участке.

Попытка оказалась удачной. С тех пор клюкководство постепенно и уверенно стало набирать силу, превращаясь в одну из самых доходных отраслей сельского хозяйства. Площадь клюквенных плантаций

превысила 15 тыс. га, а ежегодный валовой сбор ягод достиг 250 тыс. т, стоимость которого оценивается в 300 млн долларов [1].

Под влиянием успехов клюквоводства в США, промышленные плантации крупноплодной клюквы стали возникать в Канаде, а также в Европе: Англии, Голландии, Германии, Австрии, Италии, Польше, Финляндии, России. Первая в Республике Беларусь промышленная плантация крупноплодной клюквы площадью 50 га была заложена в восьмидесятые годы прошлого столетия в Пинском районе Брестской области. В настоящее время на 85 гектарах (чеках) республиканского сельскохозяйственного унитарного предприятия (РСХУП) «Беларускія журавіны» выращивается восемь наиболее распространенных сортов крупноплодной клюквы. Сочная ягода, выращенная на пинских плантациях, поступает на прилавки белорусских магазинов. Около 60 % крупноплодной клюквы идет на экспорт в Россию, Англию, страны Балтии и другие государства.

Причина повышенного внимания в мире к этой отрасли сельского хозяйства заключается в том, что клюква содержит витамины А, С, К, В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>, микро- и макроэлементы, большое количество пектина, образующего с тяжелыми металлами (стронцием, цезием, свинцом и др.) нерастворимые соединения, которые не перевариваются и выводятся из организма человека [2].

Эффективность функционирования промышленных плантаций клюквы во многом зависит от условий ее эксплуатации, а также от состояния клюквенного покрова, который в силу агроэкологических, агротехнических и других факторов со временем ухудшается, в результате чего появляются неплодоносящие участки на клюквенном чеке.

Целью данных исследований является обоснование параметров технологического процесса и режимов работы технического средства, обеспечивающего требуемый уход за клюквенным покровом промышленной плантации, а также возможность заготовки посадочного материала для восстановления существующих и закладки новых чеков крупноплодной клюквы.

#### Основная часть

Для поддержания клюквенного покрова промышленного чека в «рабочем» состоянии необходимо проводить обрезку стелющихся побегов. Этот технологический процесс выполняется после окончания уборки ягод «на воде» или ранней весной перед началом вегетации. В свою очередь, обрезанные стелющиеся побеги используются как дополнительный посадочный материал для закладки новых плантаций или восстановления клюквенника на чеке. При этом основным параметром качества выполнения технологического процесса

является полнота обрезки стелющихся побегов.

Для определения работоспособной конструкции технического средства, выполняющего поднятие, расчесывание и обрезку стелющихся побегов крупноплодной клюквы, проведены предварительные исследования. Вначале проанализированы технологические процессы с использованием секатора для обрезки стелющихся побегов производства США [3], а также с использованием отечественных технических средств. Следует отметить, что секатор в агрегате с трактором «Бог Трэк» осуществлял 80 %-ую обрезку стелющихся побегов клюквы при скорости движения машинно-тракторного агрегата (МТА) – 5.1 км/ч и частоте вращения ножевого барабана – 430 об/мин, в котором в качестве расчесывающего аппарата использовалась гребенка, выполненная в виде бесконечной цепи с присоединенными к ней одинарными пружинными зубьями. При скорости движения МТА – 4.5 км/ч и частоте вращения ножевого барабана – 660 об/мин полнота обрезки повышалась до 82 %.

Конструкция отечественного технического средства, применяемого на плантациях крупноплодной клюквы для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов (рис. 1), состоит из рамы, ножевого барабана, расчесывающего аппарата, механизма привода и опорных колес [3]. От вала отбора мощности энергетического средства с помощью карданного ва-

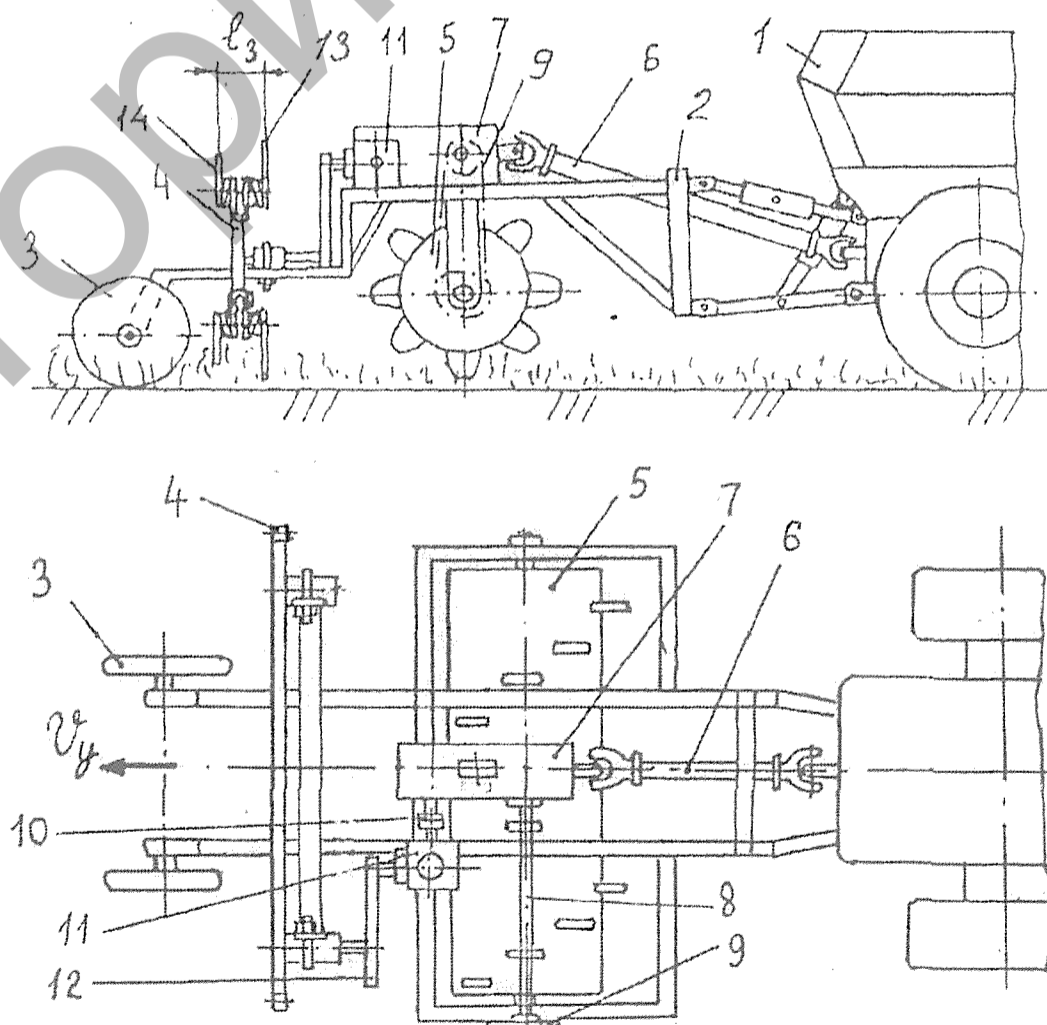


Рис. 1. Техническое средство для обрезки стелющихся побегов крупноплодной клюквы:

1 – энергосредство; 2 – рама; 3 – опорные колеса; 4 – расчесывающий аппарат; 5 – ножевой барабан; 6 – карданный вал; 7, 11 – редуктор; 8 – трансмиссионный вал; 9, 12 – цепная передача; 10 – муфта; 13 – длинный зуб пружинной пары; 14 – короткий зуб

ла, коническо - цилиндрического редуктора, трансмиссионного вала и цепной передачи осуществляется вращение ножевого барабана. От выходного вала коническо - цилиндрического редуктора с помощью компенсирующей соединительной муфты, конического редуктора и цепной передачи осуществляется привод расчесывающего устройства, выполненного в отличие от американского образца в виде бесконечной цепи, с присоединенными к ней пружинами с симметрично расположенными относительно их оси симметрии спиралями правой и левой навивки. При рабочей скорости движения рассматриваемого агрегата – 2.6 км/ч и частоте вращения ротора – 600 об/мин – полнота обрезки стелющихся побегов клоквенника достигала 89 %.

Заслуживает внимания конструкция технического средства с использованием в качестве расчесывающего устройства барабана (рис. 2), состоящего из

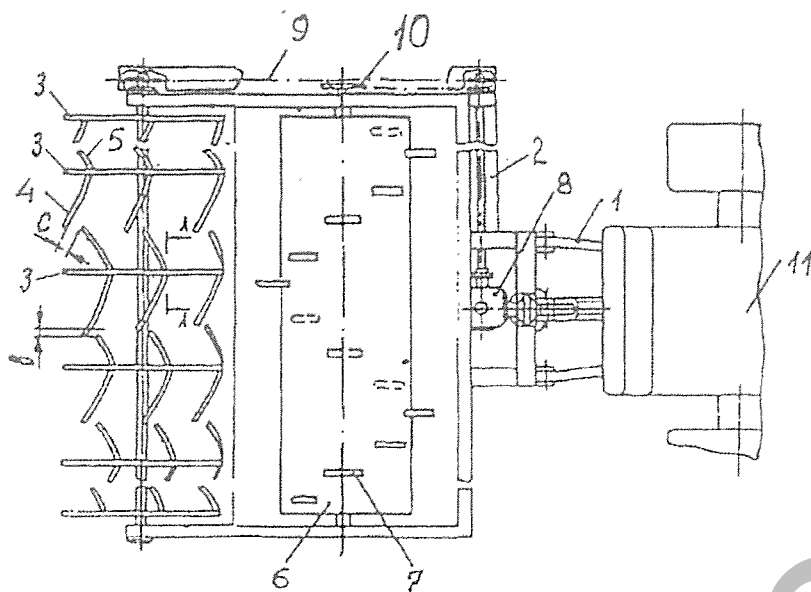


Рис. 2. Хедер для обрезки стелющихся побегов крупноплодной кюквы с расчесывающим устройством барабанного типа [4]:

- 1 – передняя навеска энергосредства; 2 – рама; 3 – обод; 4, 5 – прутки; 6 – барабан; 7 – сегмент ножевой; 8 – редуктор; 9, 10 – цепная передача; 11 – энергосредство

закрепленных на его валу ободов с консольно установленных в виде отрезков многозаходной спирали прутками, что позволяет воздействовать на кюквенник на более низком уровне от почвы, чем при выполнении прутков в виде прямых отрезков [5].

Следует отметить, что для среза побегов во всех рассмотренных конструкциях технических средств применялся барабан в виде металлического цилиндра с закрепленными на нем ножами. При этом качество резки соответствовало агротребованиям. В то же время, выполнение предшествующей операции – поднятие и расчесывание стелющихся побегов кюквенника, сопровождалось повреждениями рас-

тений, а также вырыванием их из почвы.

Анализ литературных данных и собственный опыт позволяют сделать вывод, что технические средства для обрезки стелющихся побегов кюквы могут содержать различные типы расчесывающих устройств с различной конфигурацией рабочих элементов. Кроме того, существенное влияние на качество обрезки побегов оказывает скорость движения технического средства, оптимальное значение которой зависит от конструкции технического устройства. Большое количество факторов различной природы делает целесообразным постановку отсеивающих экспериментов, позволяющих на первом этапе исследований выявить существенные факторы, которые в дальнейшем могут быть использованы для создания технического средства, потенциально обладающего требуемым комплексом эксплуатационных параметров. В табл. 1 приведены факторы, один из которых количественный -  $x_1$  (скорость) и два качественных -  $x_2$  (тип) и  $x_3$  (конфигурация), различная комбинация которых оказывает влияние на параметр оптимизации  $Y$  (полнота обрезки стелющихся побегов крупноплодной кюквы).

Для постановки отсеивающего эксперимента был взят насыщенный план дробного факторного эксперимента типа  $2^{3-1}$  с количеством опытов  $N = 4$  и генерирующим соотношением  $X_3 = -X_1 X_2$  [6]. В результате проведения эксперимента и обработки данных методами математической статистики было получено следующее уравнение регрессии первого порядка:

$$Y = 86.7 - 4.8X_1 - 2.9X_2 - 2.5X_3. \quad (1)$$

Анализ результатов отсеивающего эксперимента позволяет сделать выводы:

а) по степени значимости на параметр оптимизации линейные эффекты в выбранном интервале варьирования располагаются следующим образом:

$$X_1 > X_2 > X_3 \quad (4.8 > 2.9 > 2.5);$$

б) снижение скорости движения МТА с 5.1 до 2.6 км/ч повышает количество обрезанных стелющихся побегов и, следовательно, потенциальное количество посадочного материала на 10 %;

в) использование гребенки в техническом средстве вместо расчесывающего барабана также позволяет уве-

**Таблица 1. Натуральные и нормированные значения факторов технического средства для ухода за кюквенным покровом чека**

Наименование факторов	Нормированные значения факторов, $X_r$ ( $r = 1, 2, 3$ )	
	$X_r = -1$	$X_r = +1$
	Натуральные значения факторов, $x_r$	
Скорость движения агрегата, км/ч	2.6	5.1
Тип расчесывающего устройства	гребенка	барабан
Конфигурация рабочих элементов расчесывающего устройства	сдвоенные пружинные зубья	консоли-прутки

лечить количество обрезанных стелющихся побегов на 6 %;

г) применение в качестве рабочих элементов расчесывающего устройства сдвоенных пружинных зубьев позволяет по сравнению с консолями-прутками увеличить полноту обрезки стелющихся побегов на 5 %, что ощутимо с учетом агротехнических требований на выполнение технологического процесса;

д) оптимальное сочетание значений рассмотренных факторов для достижения высокой степени обрезки стелющихся побегов (более 95 %) следующее:  $x_1 \approx 2.6$  км/ч ( $X_1 = -1$ );  $x_2$  - гребенка ( $X_2 = -1$ );  $x_3$  - сдвоенные пружинные зубья ( $X_3 = -1$ ).

Таким образом, наилучшая конструкция технического средства для ухода за клюквенным покровом чека включает в себя расчесывающее устройство (рис. 3) в виде гребенки со сдвоенными пружинными зубьями. Для обрезки стелющихся побегов крупноплодной клюквы расчесывающее устройство поднимает их. При этом передние короткие продолжения крайних наружных витков спиралей каждой пары с

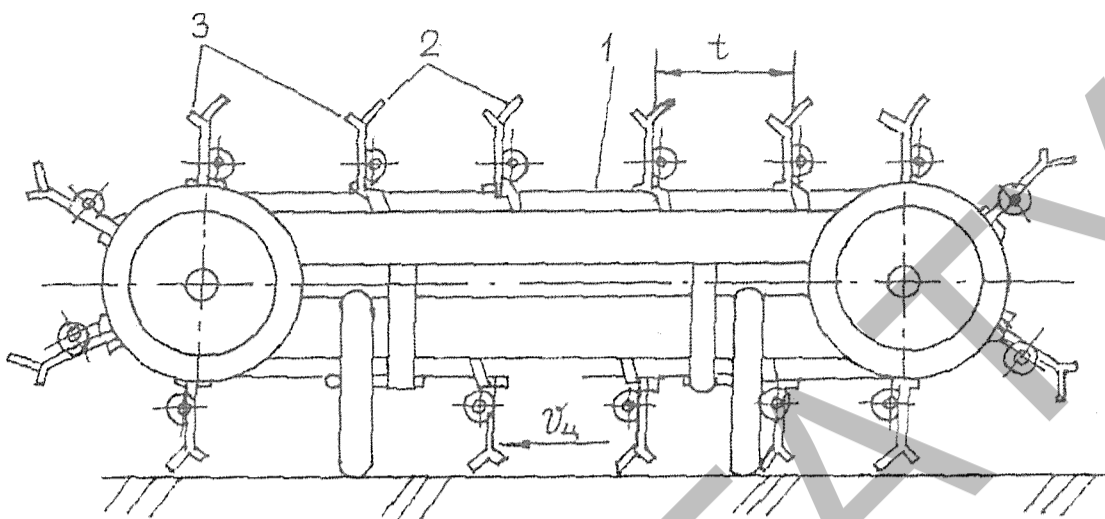


Рис. 3. Расчесывающее устройство с пружинными зубьями [5]:  
1 - цепь; 2 - длинный зуб пружинной пары; 3 - короткий зуб

отгибом их концов в сторону, противоположную направлению движения бесконечной цепи ( $v_u$ ), расчесывают верхний слой побегов клюквы, а задние длинные продолжения крайних наружных витков спиралей расчесывают нижний, более прочный слой побегов с максимальным их захватом. На рассмотренное техническое устройство в 2009 году получен патент Республики Беларусь [5].

На втором этапе исследований была поставлена задача оптимизации технологического процесса по обрезке стелющихся побегов крупноплодной клюквы с помощью выбранного технического средства (расчесывающее устройство - гребенка со сдвоенными пружинными зубьями). Предварительные исследования и опыт эксплуатации позволили выявить существенные факторы, влияющие на полноту обрезки стелющихся побегов и снижение их повреждаемости (рис. 4), уровни и интервалы варьирования которых приведены в табл. 2.

Моделирование исследуемого объекта выполнялось с помощью многофакторного ортогонализированного уравнения регрессии второго порядка [6]:

$$Y = b_0 + \sum_{r=1}^k b_r X_r + \sum_{\substack{r=1 \\ r < s}}^k b_{rs} X_r X_s + \sum_{r=1}^k b_{rr} (X_r^2 - \lambda_k), \quad (2)$$

где:  $b_0 \dots b_{rr}$  - коэффициенты уравнения регрессии;  
 $\lambda_k$  - ортогонализующий коэффициент.

Использование уравнения регрессии в такой форме позволяет произвести независимую оценку коэффициентов многофакторного уравнения регрессии и дисперсий их значимости по относительно простым формулам. Для построения уравнения регрессии в форме (2) используем ортогональный центральный композиционный план (ОЦКП), который включает в себя три структурных блока:

- полный факторный эксперимент (ПФЭ) с числом опытов  $N_{k0} = 2^k$ ;

- опыты в «звездных» точках, по 2 опыта на каждый фактор. Общее число опытов в «звездных» точках  $2k$ , координаты которых в факторном пространстве:  $(\mp \alpha_k, 0, \dots, 0)$ ;  $(0, \mp \alpha_k, \dots, 0)$ ;  $(0, 0, \dots, \mp \alpha_k)$ , где  $\alpha_k$  - звездное плечо;

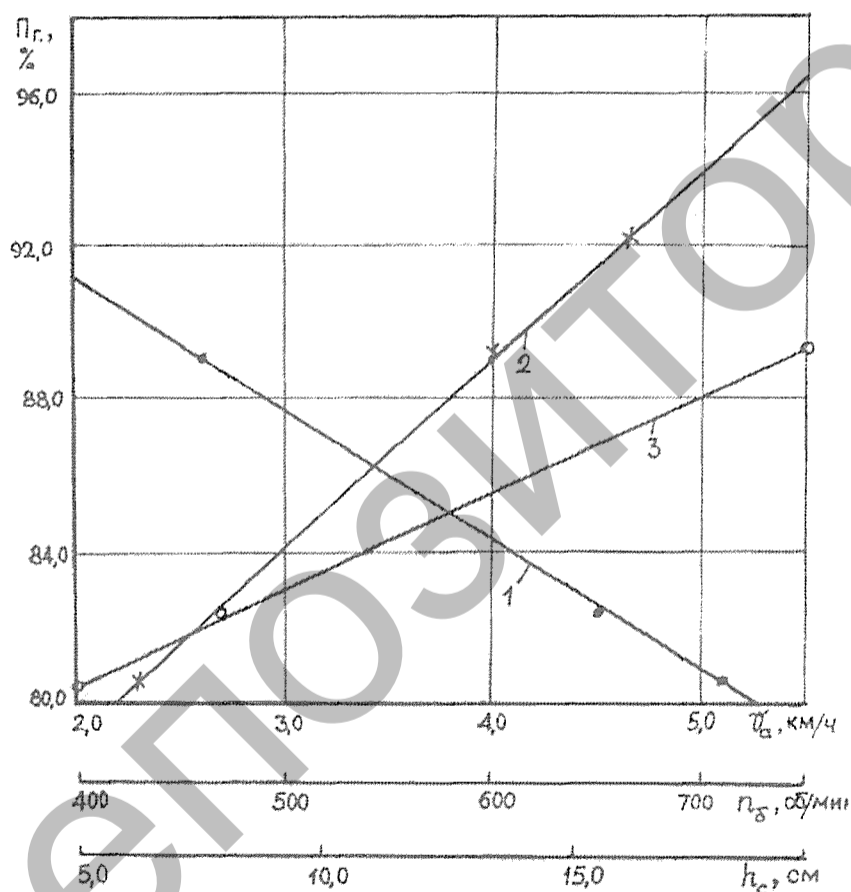


Рис. 4. Полнота обрезки ( $P_r$ ) стелющихся побегов крупноплодной клюквы в зависимости:

- 1 - от скорости движения МТА ( $v_u$ ) ( $n_b = 600$  об/мин;  $h_c = 12$  см;  $D_b = 400$  мм);
- 2 - частоты вращения режущего барабана ( $n_b$ ) ( $v_u = 2.6$  км/ч;  $h_c = 12$  см;  $D_b = 400$  мм);
- 3 - высоты среза ( $h_c$ ) ножевым барабаном ( $v_u = 2.6$  км/ч;  $n_b = 600$  об/мин;  $D_b = 400$  мм)

**Таблица 2. Наименование факторов, уровни и интервалы варьирования для оптимизации технологического процесса по обрезке стелющихся побегов**

Наименование факторов	Скорость движения МТА $v_a$ , км/ч	Частота вращения режущего барабана $n_b$ , об/мин	Высота среза растений $h_c$ , см
Основной уровень, $X_{r0} = 0$	3.85	545	13.7
Интервал варьирования	1.25	115	6.2
Верхний уровень, $X_r = + 1$	5.10	660	19.9
Нижний уровень $X_r = - 1$	2.60	430	7.5
Верхний звездный уровень $X_r = + 1.2154$	5.37	685	21.2
Нижний звездный уровень $X_r = - 1.2154$	2.33	405	6.2
Формулы перевода натуральных значений факторов в нормированные и обратно	$X_1 = \frac{x_1 - 3.85}{1.25}$ $x_1 = 3.85 + 1.25X_1$	$X_2 = \frac{x_2 - 545}{115}$ $x_2 = 545 + 115X_2$	$X_3 = \frac{x_3 - 13.7}{6.2}$ $x_3 = 13.7 + 6.2X_3$

- один опыт в центре плана (0, ..., 0).

Общее количество опытов ОЦКП равно:

$$N_k = 2^k + 2k + 1.$$

Величина звездного плеча  $\alpha_k$  и ортогонализирующего коэффициента  $\lambda_k$  рассчитываются по формулам:

$$\alpha_k = \sqrt{\frac{\sqrt{N_k \cdot N_{k0}} - N_{k0}}{2}}, \lambda_k = \sqrt{\frac{N_{k0}}{N_k}}. \quad (3)$$

Для ОЦКП при  $k = 3$ ;  $N_{k0} = N_{30} = 8$ ;  $N_k = N_3 = 15$  получаем:  $\alpha_3 = 1.2154$ ;  $\lambda_3 = 0.7303$ .

В табл. 3 приведен ОЦКП для построения трехфакторного ортогонализованного уравнения регрессии второго порядка. В этой же таблице приведены суммы квадратов всех факторов, которые потребуются для расчета коэффициентов уравнения регрессии (2) и дисперсий их значимости.

В табл. 4 приведены опытные данные, полученные в

результате проведения эксперимента по плану ОЦКП, приведенного в табл. 3. Для повышения статистической достоверности математической модели каждый опыт был выполнен с числом дублей  $n = 3$ . В этой же таблице приведены также рассчитанные по уравнениям (4) значения средних  $\bar{Y}_j$  и дисперсий  $S_j^2$  в каждом опыте.

$$\bar{Y}_j = \frac{\sum_{i=1}^n Y_{ji}}{n}, S_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{ji} - \bar{Y}_j)^2}{n-1}. \quad (4)$$

Дисперсии всех опытов в данном эксперименте с доверительной вероятностью 95 % однородны, так как экспериментальное значение критерия Кохрена меньше критического значения  $G_j < G_{n-1, N, 0.95}$ :

$$G_j = \frac{\max S_j^2}{\sum_{j=1}^N S_j^2} = \frac{1.33}{9.00} = 0.148, G_{2;15;0.95} = 0.335. \quad (5)$$

**Таблица 3. Трехфакторный ОЦКП ( $k = 3$ )**

$N_3$	$X_{0j}$	$X_{1j}$	$X_{2j}$	$X_{3j}$	$X_{1j}X_{2j}$	$X_{1j}X_{3j}$	$X_{2j}X_{3j}$	$x_{1j}^2 - 0.7303$	$x_{2j}^2 - 0.7303$	$x_{3j}^2 - 0.7303$
1	+	-	-	-	+	+	+	0.2697	0.2697	0.2697
2	+	+	-	-	-	-	+	0.2697	0.2697	0.2697
3	+	-	+	-	-	+	-	0.2697	0.2697	0.2697
4	+	+	+	-	+	-	-	0.2697	0.2697	0.2697
5	+	-	-	+	+	-	-	0.2697	0.2697	0.2697
6	+	+	-	+	-	+	-	0.2697	0.2697	0.2697
7	+	-	+	+	-	-	+	0.2697	0.2697	0.2697
8	+	+	+	+	+	+	+	0.2697	0.2697	0.2697
9	+	0	0	0	0	0	0	-0.7303	-0.7303	-0.7303
10	+	-1.2154	0	0	0	0	0	0.7469	-0.7303	-0.7303
11	+	+1.2154	0	0	0	0	0	0.7469	-0.7303	-0.7303
12	+	0	-1.2154	0	0	0	0	-0.7303	0.7469	-0.7303
13	+	0	+1.2154	0	0	0	0	-0.7303	0.7469	-0.7303
14	+	0	0	-1.2154	0	0	0	-0.7303	-0.7303	0.7469
15	+	0	0	+1.2154	0	0	0	-0.7303	-0.7303	0.7469
$\sum_{j=1}^{15} X^2$	15	10.9545	10.9545	10.9545	8	8	8	4.3644	4.3644	4.3644

Таблица 4. Результаты эксперимента, выполненного по ОЦКП

N	Y <sub>1j</sub>	Y <sub>2j</sub>	Y <sub>3j</sub>	$\bar{Y}_j$	S <sub>j</sub> <sup>2</sup>	Y <sub>j</sub> <sup>p</sup>	( $\bar{Y}_j - Y_j^p$ ) <sup>2</sup>
1	88	86	88	87.3	1.33	87.6	0.097
2	80	80	80	80.0	0.00	79.4	0.359
3	93	93	92	92.7	0.33	92.6	0.006
4	84	85	84	84.3	0.33	84.3	0.000
5	92	90	90	90.7	1.33	90.4	0.062
6	83	81	82	82.0	1.00	82.2	0.030
7	93	93	92	92.7	0.33	92.5	0.018
8	85	83	84	84.0	1.00	84.3	0.083
9	97	96	96	96.3	0.33	96.4	0.010
10	87	86	86	86.3	0.33	86.4	0.006
11	87	89	87	87.7	1.33	87.9	0.077
12	92	93	92	92.3	0.33	92.2	0.010
13	89	89	88	88.7	0.33	88.9	0.070
14	90	91	91	90.7	0.33	90.6	0.007
15	95	94	94	94.3	0.33	94.1	0.075
$\sum_{j=1}^{15} S_j^2 = 9.00$					$\varphi = \sum_{j=1}^{15} (\bar{Y}_j - Y_j^p)^2 = 0.911$		

Таблица 5. Результаты обработки эксперимента методами математической статистики

b	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>12</sub>	b <sub>13</sub>	b <sub>23</sub>	b <sub>11</sub>	b <sub>22</sub>	b <sub>33</sub>
	88.67	-4.12	1.77	0.68	-0.13	-0.21	-0.71	-1.78	-2.69	-2.91
S <sup>2</sup> (b)	0.013	0.018	0.018	0.018	0.025	0.025	0.025	0.046	0.046	0.046
S(b)	0.115	0.135	0.135	0.135	0.158	0.158	0.158	0.214	0.214	0.214
Δb	0.24	0.28	0.28	0.28	0.32	0.32	0.32	0.44	0.44	0.44
Значимость	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1

Так как дисперсии всех опытов однородны, то дисперсия воспроизводимости рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{воспр}}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N S_j^2}{N} = \frac{9.00}{15} = 0.600,$$

$$f_{\text{воспр}} = N(n-1) = 30. \quad (6)$$

Коэффициенты ортогонализированного уравнения регрессии (2) и дисперсии их значимости рассчитаны по формулам [6]:

$$b_0 = \frac{\sum_{j=1}^N X_{0j} \bar{Y}_j}{\sum_{j=1}^N X_{0j}^2}; \quad b_r = \frac{\sum_{j=1}^N X_{rj} \bar{Y}_j}{\sum_{j=1}^N X_{rj}^2}, \quad r = 1, \dots, k; \quad (7)$$

$$b_{rs} = \frac{\sum_{j=1}^{N_k} (X_{rj} X_{sj}) \bar{Y}_j}{\sum_{j=1}^{N_k} (X_{rj} X_{sj})^2}, \quad r = 1, \dots, k-1; \quad s = 2, \dots, k; \quad (8)$$

$$b_{rr} = \frac{\sum_{j=1}^N (X_{rj}^2 - \lambda_k) \bar{Y}_j}{\sum_{j=1}^N (X_{rj}^2 - \lambda_k)^2}, \quad r = 1, \dots, k. \quad (9)$$

$$S^2(b_0) = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{n \sum_{j=1}^N X_{0j}^2}; \quad S^2(b_r) = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{n \sum_{j=1}^N X_{rj}^2}, \quad r = 1, \dots, k; \quad (10)$$

$$S^2(b_{rs}) = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{n \sum_{j=1}^{N_k} (X_{rj} X_{sj})^2}, \quad r = 1, \dots, k-1; \quad s = 2, \dots, k; \quad (11)$$

$$S^2(b_{rr}) = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{n \sum_{j=1}^N (X_{rj}^2 - \lambda_k)^2}, \quad r = 1, \dots, k. \quad (12)$$

Доверительные интервалы регрессионных коэффициентов рассчитаны по формуле:

$$\Delta b = t_{N_k(n-1), p} \cdot S(b), \quad (13)$$

где  $t_{N_k(n-1); 0.95}$  - критическое значение критерия Стьюдента при числе степеней свободы  $f_{\text{воспр}} = N(n-1)$  и доверительной вероятности 95%;  $t_{30, 0.95} = 2.042$ .

Коэффициент уравнения регрессии (2) с доверительной вероятностью 95 % считался значимым, если выполнялось следующее неравенство:

$$\Delta b < |b|. \quad (14)$$

В табл. 5 приведены рассчитанные коэффициенты уравнения регрессии (2), дисперсии их значимости, а также доверительные интервалы регрессионных коэффициентов.

Анализ результатов обработки экспериментальных данных показывает, что регрессионные коэффициенты  $b_{12}$  и  $b_{13}$  незначимы и поэтому искомое уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$Y = 88.67 - 4.12X_1 + 1.77X_2 + 0.68X_3 - 0.71X_2X_3 - 1.78(X_1^2 - 0.73)^2 - 2.69(X_2^2 - 0.73)^2 - 2.91(X_3^2 - 0.73)^2. \quad (15)$$

Дисперсия адекватности, используя данные таблиц 4 и 5, рассчитывалась по формуле:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{n\varphi}{N_k - B} = \frac{3 \cdot 0.911}{15 - 8} = 0.390, \quad f = N - B = 15 - 8 = 7, \quad (16)$$

где  $\varphi = \sum_{j=1}^{N_k} (\bar{Y}_j - Y_j^p)^2$  - остаточная сумма

квадратов (табл. 4);  $Y_j^p$  - значение параметра  $Y$ , рассчитанное по ортогонализованному уравнению регрессии второго порядка (2) (табл. 4);  $B$  - число значимых коэффициентов многофакторного уравнения регрессии второго порядка ( $B = 8$ , табл. 5).

Полученное уравнение регрессии с доверительной вероятностью 95% адекватно, так как экспериментальное значение критерия Фишера меньше критического значения  $F_3 < F_{N_k(n-1); N-B; 0.95}$ :

$$F_3 = \frac{S_{\text{воспр}}^2}{S_{\text{ад}}^2} = \frac{0.600}{0.390} = 1.538, \text{ так как} \quad (17)$$

$$S_{\text{воспр}}^2 > S_{\text{ад}}^2; F_{30; 7; 0.95} = 3.376.$$

Так как все регрессионные коэффициенты при квадратичных членах меньше нуля, то уравнение регрессии (15) имеет абсолютный максимум. Приравнявая частные производные параметра  $Y$  к нулю, найдем оптимальные значения факторов  $X_1, X_2, X_3$ , при которых  $Y = Y_{\text{max}} = 96.7\%$ :

$$X_{1 \text{ опт}} = -1.174; \quad X_{2 \text{ опт}} = 0.340; \quad X_{3 \text{ опт}} = 0.117. \quad (18)$$

Перевод нормированных оптимальных значений факторов в натуральные по формулам, приведенным в табл. 2, дает следующие результаты:

$$\begin{aligned} x_{1 \text{ опт}} &= v_{\text{а опт}} = 2.37 \text{ км/ч;} \\ x_{2 \text{ опт}} &= n_{\text{б опт}} = 584 \text{ об/мин;} \\ x_{3 \text{ опт}} &= h_{\text{с опт}} = 14.4 \text{ см.} \end{aligned} \quad (19)$$

Абсолютная погрешность параметра  $Y(X_1, \dots, X_k)$ , рассчитанного по ортогонализованному многофакторному уравнению регрессии второго порядка (2), определяется по формуле:

$$\Delta Y = t_{N_k(n-1); 0.95} \sqrt{S^2(b_0) + S^2(b_1) \sum_{r=1}^k X_r^2 + S^2(b_{12}) \sum_{\substack{r=1, \\ r < s}}^k (X_r X_s)^2 + S^2(b_{11}) \sum_{r=1}^k (X_r^2 - \lambda_k)^2} \quad (20)$$

Подставляя в уравнение (20) данные уравнений (13), (18) и табл. 5, получаем, что предельная абсолютная погрешность  $Y_{\text{max}}$  по данным настоящего эксперимента, равна  $\Delta Y_{\text{max}} = 0.7\%$ .

Таким образом, полученная математическая модель позволяет найти не только оптимальные значения факторов, при которых достигается максимальное значение полноты обрезки стелющихся побегов клоквы, но и абсолютную погрешность этой величины:  $Y_{\text{max}} = (96.7 \pm 0.7)\%$ .

### Заключение

Разработана математическая модель технологического процесса ухода за клоквенным покровом чека промышленной плантации. Установлено, что при соблюдении агротехнических требований на выполнение процесса, максимальная полнота обрезки стелющихся побегов крупноплодной клоквы (96,7%) достигается при скорости движения машинно-тракторного агрегата - 2.37 км/ч, частоте вращения режущего барабана технического средства - 584 об/мин и высоте среза - 14.4 см. Срезанные стелющиеся побеги можно использовать как посадочный материал для восстановления существующих или закладки новых чек.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Черкасов, А.Ф. Основы технологии и агротехники плантационного возделывания клоквы / А.Ф. Черкасов. - М.: Астрель, 2001. - 307 с.
2. Клоква крупноплодная в Белоруссии / Е.А. Сидорович [и др.]. - Минск: Наука и техника, 1987. - 238с.

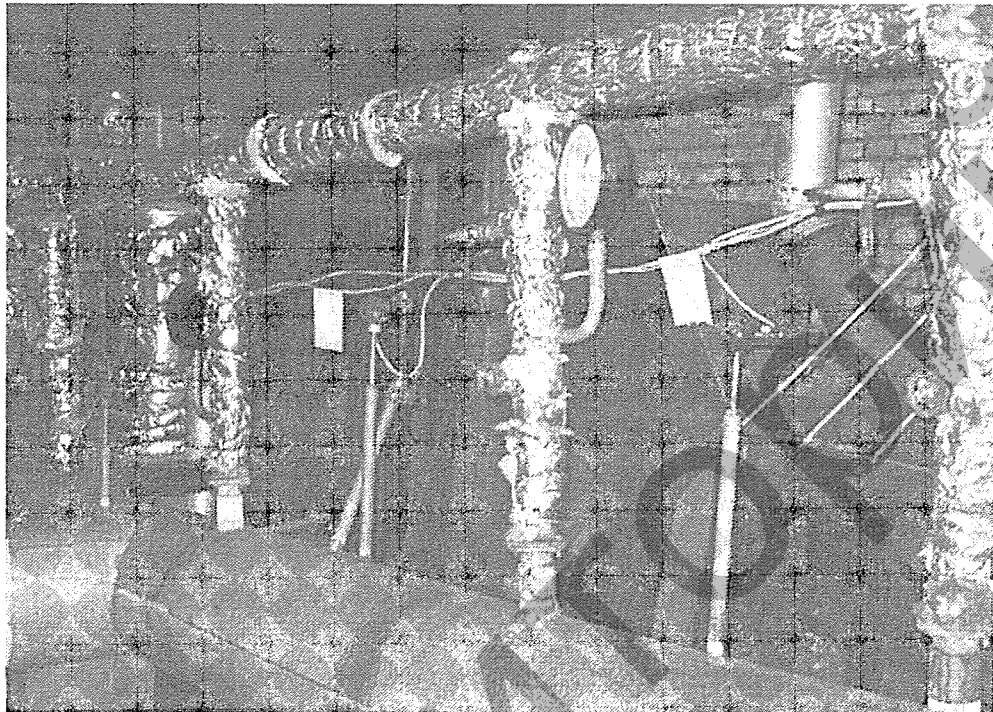
3. Мисун, Л.В. Научные и технологические основы производства крупноплодной клюквы / Л.В. Мисун. – Минск: «Хата», 1995. – 135 с.

4. Хедер для расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквы: пат. 5190 Респ. Беларусь, МПК(2006) А 01Д 46/24 / Л.В. Мисун [и др.]; заявитель Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т. – № u20080741; заявл. 30.09.2008; опубл. 05.01.2009 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 2. – С. 151 – 152.

5. Устройство для расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквы: пат. 5950 Респ. Беларусь, МПК(2009) А 01Д 46/00/ Л.В. Мисун [и др.]; заявитель Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т. – № u20090484; заявл. 10.06.2009; опубл. 28.02.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 1. – С. 143.

6. Леонов, А.Н. Основы научных исследований и моделирования / А.Н. Леонов, М.М. Дечко, В.Б. Ловкис. – Минск: БГАТУ, 2010. – 276 с.

## Оборудование для воздушного отопления крупногабаритных производственных помещений на местных видах топлива



*Предназначено* для сжигания древесных отходов (щепа, опилки, стружка, дроблённая кора и др.) с целью получения тепловой энергии для отопления и горячего водоснабжения крупногабаритных помещений.

Оборудование может быть применено в стационарных котельных во всех электрифицированных зонах с питанием от сети переменного тока напряжением 380/220 В с частотой 50 Гц.

### Основные технические данные

Теплопроизводительность	250 кВт
КПД	90%
Температура воды на входе	40°C
на выходе	95°C
Рабочее давление воды	0,4 МПа
Расход воды	7 м <sup>3</sup> /ч
Топливо	древесные отходы (щепа, опилки, стружка, дроблённая кора)
Температура отходящих дымовых газов	90... 110°C
Масса теплообменника	900 кг
Масса газогенератора	1000 кг
Расход топлива	70 кг/час
Температура в активном слое колосниковой решетки	500-600 °C
Температура факела в жаровой трубе	1000-1150 °C
Температура отходящих дымовых газов	90-110 °C
Температура воздуха при выходе из теплообменника	65-75 °C