

ВЕСЦІ НАЦЫЯНАЛЬНАЙ АКАДЭМІІ НАВУК БЕЛАРУСІ № 1 2016
СЕРЫЯ АГРАРНЫХ НАВУК

УДК 634.739.3:631.34:631.158:658.345

В. В. АЗАРЕНКО¹, А. Н. ЛЕОНОВ², А. Л. МИСУН², А. Ю. ЛАРИЧЕВ²

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА
НА КЛЮКВЕННЫХ ЧЕКАХ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ПАРАМЕТРОВ
ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ**

¹Президиум НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: azarenko@presidium.bas-net.by
²Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Беларусь,
e-mail: LLM_90@mail.ru

В результате проведенных исследований по повышению безопасности труда в условиях изменяющихся параметров производственной среды промышленного выращивания клюквы крупноплодной разработана математическая модель, которая позволяет определить оптимальные значения факторов, при которых достигается максимальное значение полноты безопасной обрезки стелющихся побегов клюквы. Установлено, что наибольшую опасность для травмирования механизатора на клюквенном чеке представляет выполнение технологического процесса по поднятию, расчесыванию и обрезке стелющихся побегов клюквенника.

Ключевые слова: безопасность труда, производственная среда – клюквенный чек, механизированные работы, технические средства.

V. V. AZARENKO¹, A. N. LEONOV², A. L. MISUN², A. U. LARICHEV²

**RESULTS OF THE RESEARCH ON LABOUR SAFETY ON CRANBERRY CHECKS
IN THE CONDITIONS OF CHANGING PARAMETERS OF THE PRODUCTION ENVIRONMENT**

¹The Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: azarenko@presidium.bas-net.by
²The Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Belarus, e-mail: LLM_90@mail.ru

As a result of the research on improvement of labour safety in the conditions of changing parameters of cranberry production the mathematical model has been developed. The model allows determining optimal values of the factors when the maximum value of fullness of safe cutting of cranberry shoots is reached. It is established that the process of shoots raising, brushing and cutting is the greatest danger for a machinery operator to be injured on a cranberry check.

Keywords: labour safety, production environment – cranberry check, mechanized operations, technical means.

Введение. Клюква крупноплодная (*Oxycoccus macrocarpus*) – одна из наиболее молодых культур среди ягодных растений, выращиваемых в Республике Беларусь. Для нормального функционирования клюквенных чеков, поддержания их в рабочем состоянии, обеспечения должного ухода за культурой, закладки новых площадей требуется значительное количество высококачественного сортового посадочного материала (черенков клюквы). Решение этого вопроса во многом зависит от технических возможностей используемых на чеках средств механизации, позволяющих повысить эффективность и безопасность технологических операций.

Существенное влияние на качество и безопасность механизированного расчесывания и обрезки побегов клюквы в условиях изменяющихся параметров производственной среды (изменения на чеках длины стелющихся горизонтальных побегов клюквенника, высоты клюквенника, угла откосов чека и др.) оказывают конфигурация рабочих органов и режимы работы технического средства.

Цель исследований – повышение безопасности труда в условиях изменяющихся параметров производственной среды промышленного выращивания крупноплодной клюквы.

Анализ литературных данных [1] позволил сделать вывод, что технические средства для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся горизонтальных побегов клюквы (в дальнейшем стелющихся побегов) могут включать конструктивные элементы разнообразной конфигурации. Кроме того, большое количество факторов различной природы, влияющих на выполнение технологического

процесса, делает целесообразным постановку отсеивающих экспериментов [2–3], позволяющих на первом этапе исследований выявить наиболее существенные факторы, которые могут в дальнейшем быть использованы для создания технического средства, потенциально обладающего требуемым комплексом эксплуатационных показателей. В табл. 1 приведены факторы, один из которых количественный – x_1 (скорость, изменяющаяся в зависимости от длины стелющихся побегов, высоты клюквенника) и два качественных – x_2 (тип) и x_3 (конфигурация), различная комбинация которых оказывает влияние на параметр оптимизации Y (полноту обрезки стелющихся побегов клюквенника).

Т а б л и ц а 1. **Натуральные и нормированные значения факторов технического средства для поднятия расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника**

Фактор	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

Для постановки отсеивающего эксперимента был взят насыщенный план дробного факторного эксперимента типа 2^{3-1} с количеством опытов $N = 4$ и генерирующим соотношением $X_3 = -X_1X_2$ [4]. В результате проведения эксперимента и обработки данных методами математической статистики было получено следующее уравнение регрессии первого порядка:

$$Y = 86,7 - 4,8X_1 - 29X_2 - 2,5X_3. \quad (1)$$

Таким образом, анализ результатов отсеивающего эксперимента позволяет сделать следующие выводы:

а) по степени значимости на параметр оптимизации линейные эффекты в выбранном интервале варьирования располагаются следующим образом: $X_1 > X_2 > X_3$ ($4,8 > 2,9 > 2,5$);

б) снижение скорости движения машинно-тракторного агрегата (МТА) (трактор + техническое средство) с 5,1 до 2,6 км/ч, вызванное изменением длины стелющихся побегов на 28 % (среднее значение длины побегов на отдельных участках чека составляло от 50 до 70 см) повышает на 10 % количество обрезанных стелющихся побегов, т.е. посадочного материала;

в) использование гребенки в конструкции технического средства вместо расчесывающего барабана также позволяет увеличить 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 поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника на чеке включает в себя расчесывающее устройство 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 отгибом их концов в сторону, противоположную направлению движения бесконечной цепи ($v_{ц}$), расчесывают верхний слой побегов клюквы, а задние длинные продолжения крайних наружных витков спиралей расчесывают нижний, более прочный, слой побегов с максимальным их захватом.

На втором этапе исследований была поставлена задача по оптимизации режимов выполнения технологического процесса выбранным техническим средствами, обеспечивающих в усло-

виях изменяющейся высоты клюквенника, длины стелющихся побегов полноту, безопасность и качество их обрезки. Предварительными исследованиями выявлены наиболее существенные факторы, влияющие на этот процесс. Следует отметить, что все обозначенные факторы, уровни и интервалы варьирования которых приведены в табл. 2, также характеризуют состояние и изменения параметров производственной среды (клюквенного чека). Так, например, выбор скорости движения МТА (v_a) и частоты вращения режущего барабана (n_6) определяется с учетом густоты стелющихся побегов на чеке и высоты клюквенника, а установка МТА среза побегов (h_c) зависит от высоты клюквенника. Вышеприведенное означает, что для выполнения технологического процесса приходится неоднократно (десятки раз за смену) выполнять регулировки высоты среза побегов, частоты вращения режущего барабана, скорости движения МТА, что сказывается на утомляемости механизатора и, как следствие, возрастанию вероятности его травмирования.

Т а б л и ц а 2. Наименование факторов, уровни и интервалы их варьирования для оптимизации технологического процесса поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника

Фактор	Скорость движения МТА, v_a , км/ч	Частота вращения режущего барабана, n_6 , 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	$X_1 = \frac{x_1 - 3,85}{1,25}$, $x_1 = 3,85 + 1,25X_1$	$X_2 = \frac{x_2 - 545}{115}$, $x_2 = 545 + 115X_2$	$X_3 = \frac{x_3 - 13,7}{6,2}$, $x_3 = 13,7 + 6,2X_3$

Результаты обработки экспериментальных данных позволили получить следующее уравнение регрессии [4]:

$$Y = 88,67 - 4,12X_1 + 1,77X_2 + 0,68X_3 - 0,71X_2X_3 - 1,78(X_1^2 - 0,73)^2 - 2,69(X_2^2 - 0,73)^2 - 2,91(X_3^2 - 0,73)^2. \quad (2)$$

Перевод нормированных оптимальных значений факторов в натуральные по формулам, приведенным в табл. 2, дает следующие результаты [4]:

$$x_{1\text{ опт}} = v_{a\text{ опт}} = 2,37 \text{ км/ч}; \quad x_{2\text{ опт}} = n_{6\text{ опт}} = 584 \text{ об/мин}; \quad x_{3\text{ опт}} = h_{c\text{ опт}} = 14,4 \text{ см}.$$

Абсолютная погрешность параметра $Y(X_1, \dots, X_k)$, рассчитанного по ортогонализированному многофакторному уравнению регрессии второго порядка (3), определяется по формуле

$$\Delta Y = t_{N_k(n-1); N-B; 0,95} \sqrt{S^2(b_0) + S^2(b_1) \sum_{r=1}^k X_r^2 + S^2(b_{12}) \sum_{\substack{r=1 \\ r < s}}^k (X_r X_s)^2 + S^2(b_{11}) \sum_{r=1}^k (X_r^2 - \lambda_k)^2}. \quad (3)$$

Подставляя ранее полученные данные в уравнение (3), получаем, что предельная абсолютная погрешность Y_{max} , по данным проведенного 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 безопасной обрезки стелющихся побегов клюквы, но и абсолютную погрешность этой величины: $Y_{\text{max}} = (96,7 \pm 0,7) \%$ [4].

Для оценки показателей удобства, доступности и безопасности регулировок технических средств для механизированных работ на клюквенных чеках воспользуемся следующей зависимостью [5]:

$$K_{\text{Пik}} = aS_{ik}^l + bS_{ik} + cS_{ik}^m, \quad (4)$$

где $K_{\Pi ik}$ – показатель приспособленности k -го технического средства к i -й технологической регулировке; a, b, c – коэффициенты удобства, доступности и безопасности регулировочных работ соответственно; S_{ik} – сумма баллов экспертной оценки показателей удобства, доступности и безопасности i -й регулировки k -го технического средства; S_{ik}^l и S_{ik}^m – соответственно сумма квадратов и кубов баллов, выставленных экспертами за удобство, доступность и безопасность проведения i -й регулировки k -го технического средства.

Значения S_{ik} , S_{ik}^l и S_{ik}^m определяли в соответствии с выбранной для конкретных исследований оценочной шкалой. За высокий уровень приспособленности принимался уровень, оцениваемый в 5 баллов, средний – 4 балла и удовлетворительный – 3 балла.

При выводе аналитической зависимости показателя выполнения технологической регулировки технического средства учитывали следующее:

1) максимальное значение суммы баллов, выставленных экспертами за выполнение регулировки будет, когда все значения показателей ее приспособленности (удобства, доступности и безопасности) оценивались экспертами в 5 баллов. При этом

$$S_1 = 5t$$

(t – число показателей приспособленности i -й регулировки k -го технического средства).

Тогда

$$\begin{cases} S_2 = 25t; \\ S_3 = 125t; \\ K_n = 1,0; \end{cases} \quad (5)$$

2) среднее значение суммы баллов за безопасное выполнение регулировки равно 2,5. В этом случае

$$\begin{cases} S_1 = 2,5t; \\ S_2 = 6,25t; \\ S_3 = 15,625t; \\ K_{\Pi} = 0,5; \end{cases}$$

3) наименьшее значение S_1 принимает, когда все показатели приспособленности рабочего органа технического средства к технологической регулировке оценены в 1 балл и выполняется условие

$$S_1 = S_2 = S_3 \text{ и равны } t, \text{ а } K_{\Pi} = 0.$$

Принимая во внимание вышеизложенное, составим систему уравнений:

$$\begin{cases} a \cdot 5t + b \cdot 25t + c \cdot 125t = 1,0; \\ a \cdot 2,5t + b \cdot 6,25t + c \cdot 15,625t = 0,5; \\ at + bt + ct = 1,0. \end{cases} \quad (6)$$

Решая систему уравнений (6), получим:

$$a = \frac{1}{10,15t}; \quad b = \frac{1}{11,5t}; \quad c = \frac{1}{176,25t}.$$

Подставив значения коэффициентов a, b и c в формулу (4) и проделав соответствующие преобразования, получим:

$$K_{\Pi ik} = \frac{15,3S_{ik}^l - 17,4S_{ik} - S_{ik}^m}{176t}. \quad (7)$$

Выражение (7) позволяет с учетом результатов предварительного анкетирования удобства, доступности и безопасности технологической регулировки рабочего органа технического сред-

ства оценить его приспособленность к выполнению механизированных работ на клюквенном чеке.

Обобщенный показатель приспособленности k -го технического средства к технологическим регулировкам на клюквенном чеке ($K_{ПТС}$) рассчитывался как среднее геометрическое значений $K_{П_{ik}}$, а безопасность выполнения отдельно взятой i -й технологической регулировки ($K_{Б_{P_i}}$) по формуле [6]:

$$K_{Б_{P_i}} = 1,5K_{П_i} - 0,5K_{П_i}^2. \quad (8)$$

Риск травмирования оператора при выполнении i -й технологической регулировке k -го технического средства ($P_{R_{ik}}$) определяли по выражению

$$P_{R_{ik}} = [1 - (1,5K_{П_{ik}} - 0,5K_{П_{ik}}^2)]p_{ik}, \quad (9)$$

где p_{ik} – статистическая вероятность выполнения за смену i -й регулировки k -го технического средства (определяется с учетом изменений параметров производственной среды).

Для определения прогнозного обобщенного показателя риска травмирования оператора при выполнении им регулировок k -го технического средства ($P_{R_{ТСjk}}$) для j -го технологического процесса использовали формулу для расчета средней геометрической значений $P_{R_{ik}}$:

$$P_{R_{ТС}} = \sqrt[n]{P_{R_{i1k}} P_{R_{i2k}} \dots P_{R_{ink}}}, \quad (10)$$

где $P_{R_{i1k}}, P_{R_{i2k}}, \dots, P_{R_{ink}}$ – риск травмирования оператора при выполнении им i -й регулировки ($i = 1, 2, \dots, n$) k -го технического средства.

Безопасность проведения технологических регулировок технических средств в течение года их эксплуатации в условиях изменяющихся параметров производственной среды $P_{ТР}$ рассчитывали по формуле

$$P_{ТР} = \prod_{k=1}^m P(A_k), \quad (11)$$

где m – количество технических средств, используемых согласно технологии на чеке в течение года; $P(A_k)$ – вероятность безопасного выполнения технологических регулировок k -го технического средства при его эксплуатации в течение года:

$$P(A_k) = 1 - P_{R_{ТС}}.$$

Точность оценки приспособленности технических средств к выполнению технологических регулировок существенно зависит от количества экспертов и их квалификации. Уменьшение числа экспертов приводит к снижению точности оценки, а при слишком большом их количестве становится сложнее выявлять их согласованное мнение. Для установления необходимого количества экспертов с целью оценки приспособленности технических средств к технологическим регулировкам, предположим, что величина среднего квадратического отклонения σ при малой выборке n , равняется 1,5 ед., и требуется, чтобы среднее арифметическое значение выборки \bar{X} находилось не далее, чем на расстоянии одной единицы (в нашем случае 1 балла) от суммы μ (среднего значения оценки). Для нормального распределения это требование означает, что половина ширины доверительного интервала, т. е. половина от

$$\left(\bar{X} + \frac{U_{1-\alpha/2}\sigma}{\sqrt{n}} \right) - \left(\bar{X} - \frac{U_{1-\alpha/2}\sigma}{\sqrt{n}} \right) = \frac{2u_{1-\alpha/2}\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (12)$$

должна равняться 1. Таким образом, это условие можно записать в следующем виде:

$$\frac{U_{1-\alpha/2}\sigma}{\sqrt{n}} = 1,0.$$

Полагая, например, $\alpha = 0,10$ при $\sigma = 1,5$, получаем:

$$1,29 \cdot \frac{1,5}{\sqrt{n}}, \text{ или } n = \frac{(1,29 \cdot 1,5)^2}{1,0} \approx 4,0,$$

т. е. минимальный объем выборки (n) – количество экспертов для проведения исследований – должно быть не менее четырех. При этом вероятность того, что выборочное среднее будет отличаться от среднего совокупности не более чем на 1 балл, составляет 90 %. Компетентность экспертов (механизаторов) в части знаний и умения применить на практике технологические регулировки технических средств для ухода за клюквенником и уборки ягод определяли путем тестирования (тест механической понятливости «Беннета»). Следует отметить, что все механизаторы, имеющие практический опыт работы, показали необходимые знания.

Оценку показателя приспособленности технических средств к технологическим регулировкам эксперты проводили отдельно как в целом по группам показателей (удобство, доступность, безопасность), так и по показателям внутри группы. Во всех случаях проверялась согласованность ранжировок друг с другом для чего использовался коэффициент конкордации [7]:

$$W = \frac{12S}{k^2n(n-1)}, \quad (13)$$

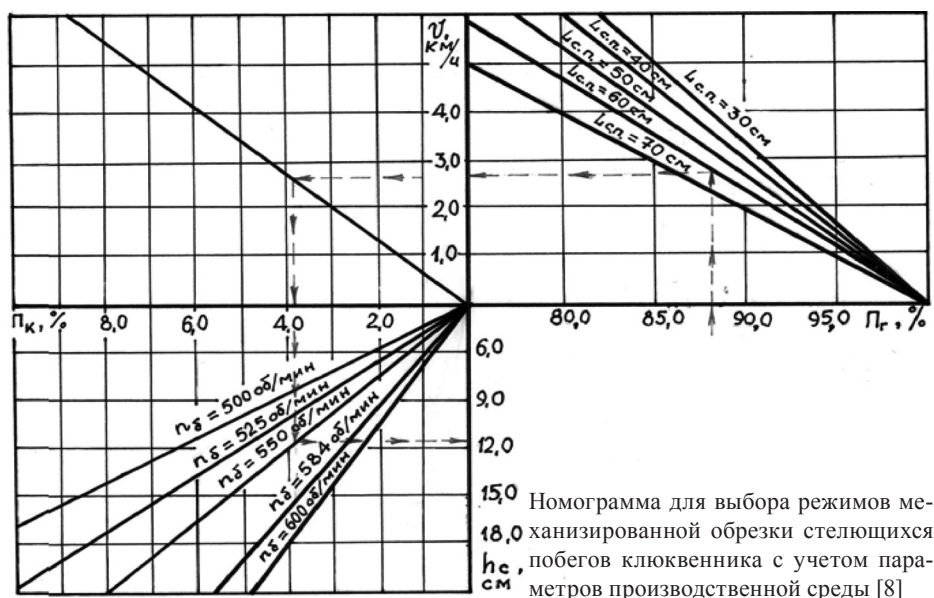
где S – сумма квадратов разностей (отклонений) между фактическими суммами рангов (j -го параметра у j -го эксперта) и их средним значением; k – число экспертов; n – число показателей.

Адекватность распределения ранжировок экспериментальным данным проверяли с использованием F критерия Фишера при выбранном уровне значимости и числах степеней свободы [2].

Согласно полученным результатам, наименее удобными являются регулировки высоты среза стелющихся побегов клюквенника, высоты установки вальца для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность, подачи рабочего раствора на валец, полууглов факела распыла распылителей опрыскивателя, угла наклона дополнительной секции хедера для расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника. Среди труднодоступных можно назвать регулировку угла наклона дополнительной секции хедера для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов, положения поддона относительно вальца технического средства для контактного нанесения раствора гербицида на сорняки, угла наклона дополнительной секции барабана для уборки ягод «на воде». Наиболее опасными являются регулировки высоты среза стелющихся побегов клюквенника, угла наклона дополнительной секции хедера для обрезки стелющихся побегов на откосах чека, подачи рабочего раствора гербицида на валец технического средства для контактного смачивания сорной растительности и др. Установлено, что в целом безопасность выполнения технологических регулировок технических средств, используемых в течение года на клюквенных чеках ($P_{\text{ТР}}$), составляет 65 %, наибольший риск травмирования оператора МСХТ прогнозируется (табл. 3) при выполнении технологических процессов поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника, а также опрыскивания посадок на чеке (показатель риска 14,0 и 12,3 % соответственно).

Т а б л и ц а 3. Показатели приспособленности технических средств к регулировкам, безопасности управления технологическими процессами на клюквенном чеке и риска травмирования оператора

Назначение технического средства, используемого на клюквенном чеке	Обобщенный показатель приспособленности технического средства к технологическим регулировкам на чеке ($K_{\text{Пр.с}}$)	Показатель риска травмирования оператора технического средства при выполнении регулировок ($P_{\text{Рт.с}}$), %
Для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника	0,37	14,0
Опрыскивание посадок клюквы на чеках	0,50	12,3
Для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность	0,59	7,4
Для среза сорняков над ярусом клюквенника	0,63	3,8
Для уборки ягод «на воде»	0,64	3,5



Номограмма для выбора режимов механизированной обрезки стелющихся побегов клемвенника с учетом параметров производственной среды [8]

Повысить безопасность выполнения механизированных работ на клемвенных чеках можно благодаря совершенствованию конструкции используемых технических средств, механизмов их регулировок, а также четким соблюдением научно-обоснованных режимов эксплуатации.

На основании проведенных исследований, с учетом сменной выработки технических средств и размеров клемвенного чека, определена частота регулировок рабочих органов технических средств (табл. 4), разработана номограмма (рисунок) для выбора режимов механизированной обрезки стелющихся побегов клемвенника с учетом изменяющихся параметров производственной среды.

Т а б л и ц а 4. Частота выполнения техническими средствами технологических регулировок

Наименование регулировок	Наименование технического средства	Количество выполнений регулировок за смену
Высота среза стелющихся побегов клемвенника (оперативная)	Для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клемвенника	27–32
Частота вращения режущего барабана (оперативная)		67–73
Угол наклона дополнительной секции (оперативная)		11–16
Скорость движения (оперативная)	Для контактного нанесения раствора гербицида на сорную растительность	101–121
Частота вращения вальца (оперативная)		202–222
Высота установки вальца (оперативная)		95–115
Подача рабочего раствора гербицида на валец (оперативная)		202–222
Положение поддона относительно вальца (оперативная)		170–172

Так, например, чтобы достичь 88 % полноты обрезки на чеке стелющихся побегов клемвенника (P_r), при среднем значении их длины ($L_{с.п.}$) 60 см и высоте клемвенника (h_c) 12 см (рисунок), необходимо, чтобы скорость (v_a) движения машинно-тракторного агрегата была 2,8 км/ч, частота вращения режущего барабана – 550 об/мин. При этом повреждение клемвенника МТА не превышает 3,8 %, что соответствует требованиям на выполнение рассматриваемого технологического процесса.

Заключение. В результате проведенных исследований разработана математическая модель, которая позволяет найти не только оптимальные значения факторов, при которых достигается максимальное значение полноты безопасной обрезки стелющихся побегов клюквы, но и абсолютную погрешность этой величины: $Y_{max} = (96,7 \pm 0,7) \%$.

Обоснована зависимость для определения показателя приспособленности технических средств к технологическим регулировкам на клемвенном чеке. Установлено, что наибольшую опасность для травмирования механизатора на клемвенном чеке представляет выполнение механизированных работ по поднятию, расчесыванию и обрезке стелющихся побегов клемвенника ($P_{Рт.с.} = 14 \%$). Для выбора безопасных режимов этих работ, с учетом изменяющихся параметров производственной среды, разработана номограмма.

Список использованных источников

1. Результаты исследования приспособленности к технологическим регулировкам технического средства для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквы на риск травмирования механизатора / В. В. Азаренко, А. Л. Мисун, С. В. Коваев // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 23–24 окт. 2014 г.: в 2 ч. / редкол.: И. Н. Шило [и др.]. – Минск, 2014. – Ч. 2. – С. 123–124.
2. *Леонов, А. Н.* Основы научных исследований и моделирования: учеб.-метод. комплекс / А. Н. Леонов, М. М. Дечко, В. Б. Ловкис. – Минск: БГАТУ, 2010. – 276 с.
3. *Вентцель, Е. С.* Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – М.: Высш. шк., 2000. – 480 с.
4. Обоснование режимов работы технического средства для ухода за клюквенным покровом промышленной плантации / Л. В. Мисун [и др.] // Агропанорама. – 2010. – № 2. – С. 6–13.
5. Оценка риска травмирования механизаторов при выполнении регулировок зерноуборочных комбайнов / М. С. Дмитриев [др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2005. – № 3. – С. 20–21.
6. Результаты теоретических исследований и моделирования условий безопасного функционирования человеко-машинных систем / Ю. Д. Олянич [и др.] // Охрана труда и здоровья работников АПК России: сб. тр. ВНИИОТ. – Орел, 1993. – С. 32–40.
7. Введение в исследование операций / У. Черчмен [и др.]. – М.: Мир, 1968. – 488 с.
8. О результатах исследований безопасности и эффективности использования технических средств на клюквенных чеках / В. В. Азаренко, А. Л. Мисун, А. Ю. Ларичев // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК: материалы междунар. науч.-практ. конф. на 25-й Междунар. специализир. выст. «Белагро–2015», Минск, 4 июня 2015 г. / М-во сель. хоз-ва и прод. Респ. Беларусь, РО «Белагросервис», Белорус. гос. аграр. техн. ун-т; редкол.: Н. А. Лабушев [и др.]. – Минск, 2015. – С. 63–67.

Поступила в редакцию 30.07.2015