

Апхудов Т. М.

Apkhudov T. M.

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВУХВАЛКОВОГО РОТОРНОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ СРЕЗАННЫХ ВЕТВЕЙ**JUSTIFICATION OF DESIGN PARAMETERS OF DOUBLE-ROLL ROTARY SHREDDER OF CUT BRANCHES**

Факторами, влияющими на силу резания, являются: положение ножей на ножевых дисках, угол заточки ножа вдоль передней и задней граней, радиус вращения режущей кромки ножа. В связи с этим, был проведен ряд экспериментов, в которых менялось размещение ножей на ножевых дисках: подряд; в шахматном порядке; по наклонной плоскости; по наклонной в шахматном порядке. Для проведения экспериментальных исследований был выбран трёхфакторный трёхуровневый план Бокса-Бенкина. Для изучения процесса измельчения на транспортере экспериментально-лабораторной установки была обеспечена равномерная подача веток. Таким образом, имитировалась работа подающего устройства подборщика-измельчителя, основной функцией которого является подбор и равномерная подача срезанных ветвей плодовых деревьев на подающие вальцы измельчителя без образования буровых ветвей и заторов. Методом скорейшего спуска с помощью компьютера устанавливаются условные крайности удельной силы отрезания ветви при наличии указанных выше ограничений и ограничений, накладываемых мощностью и степенью шлифования. В настоящей работе представлена разработанная программа экспериментальных исследований двухвалковой роторной дробилки срезанных ветвей плодовых деревьев для оптимизации конструктивных параметров двухвалковой роторной дробилки срезанных ветвей плодовых деревьев.

Ключевые слова: двухвалковый роторный измельчитель, план Бокса-Бенкина, критерий Кохрена, угол заточки, метод скорейшего спуска.

Factors influencing the cutting force are: the position of the knives on the knife disks, the angle of sharpening of the knife along the front and rear faces, the radius of rotation of the cutting edge of the knife. In this connection, a number of experiments were carried out in which the placement of knives on knife discs was changed in a row; in chessboard order; on the inclined plane; by sloping in staggered order. A three-factor three-level Boxing-Benkin plan was chosen to conduct experimental research. In order to study the grinding process, a uniform supply of branches was provided on the conveyor of the experimental laboratory plant. Thus, the operation of the feeding device of the picker-grinder was simulated, the main function of which is to select and uniformly supply cut branches of fruit trees to the feeding rollers of the grinder without formation of drilling branches and congestion. By means of early descent by means of computer, conditional extremes of specific force of branch cutting are established at presence of above mentioned limitations and limitations imposed by power and grinding degree. This article presents the developed program of experimental studies of two-roll rotary crusher of cut branches of fruit trees for optimization of structural parameters of two-roll rotary crusher of cut branches of fruit trees.

Key words: two-roll rotary grinder, Boxing-Benkin plan, Kohren criterion, sharpening angle, early descent method.

Апхудов Тимур Муаедович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии обслуживания и ремонта машин в

АПК, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик.

Apkhudov Timur Muayedovich –

Введение. Теоретическими исследованиями установлено, что конструктивными факторами, воздействующими на режущую силу, являются: положение ножей, угол заточки ножа по передней δ_n и задней δ_z граням, радиус вращения ножа R .

Был проведен ряд экспериментов, в которых было изменено размещение ножей на ножевых дисках: подряд; в заказе шахматной доски; по наклонной плоскости; по наклонной в шахматном порядке. После выбора оптимального расположения ножей на ножевых дисках были проведены эксперименты.

Методология проведения работы. Экспериментальные исследования проводились по трехфакторному трехуровневому плану Бокса-Бенкина [4].

Рассмотрены следующие конструктивные параметры двухвалковой роторной дробилки:

- угол заточки ножа по переднему торцу δ_n (X_1), задающий положение ножа по касательной окружности вращения;
- общий угол заточки ножа γ (X_2);
- радиус вращения режущей кромки ножа R (X_3).

По уравнению $\gamma = \delta_n + \delta_z$, рассчитали угол затачивания ножа.

Испытание проводили на экспериментальной установке для оптимизации конструктивных параметров двухвалковой роторной дробилки в соответствии с критерием минимизации удельной режущей силы, который определяли по формуле:

$$P_{y\partial} = \frac{P_{\max}}{b_{\max}} = \frac{N_{\max}}{b_{\max} v_o}, \quad (1)$$

где:

P_{\max} – максимальная сила за период реза, Н;
 b_{\max} – диаметр ветви, м.

Сила резания находится по формуле

$$P_{\max} = \frac{N_{\max}}{v_o}, \quad (2)$$

где:

N_{\max} – наибольшая мощность измельчения при проведении опыта, Вт;

v_o – окружная скорость режущей кромки, м/с.

Уменьшение систематических ошибок было рандомизировано таблицей случайных чисел.

Число повторений экспериментов $n=3$, с вероятностью достоверности 0,95 и предельной погрешностью $E = \pm \sigma$.

Ход исследования. Оптимизация конструктивных параметров измельчителя. На основании первоначального плана экспериментальных исследований было проведено несколько экспериментов с ветвями плодовых деревьев в зависимости от конструктивных параметров двухвалковой роторной дробилки.

При изучении процесса измельчения на транспортере экспериментально-лабораторной установки была обеспечена равномерная подача веток. Это имитировало работу подбирающего устройства подборщика-измельчителя, основной функцией которого является выбор и равномерная подача срезанных ветвей плодовых деревьев на подающие валцы измельчителя образования скучивания ветвей и заторов.

Для представленного плана:

$\alpha = 0,05$ – уровень значимости;

$f_1=2$ – число степеней свободы в тестовой строке и $f_2=15$ – для всех тестов.

Среднее арифметическое отклонение в каждой строке матрицы оценивали в соответствии с t-критерием Стьюдента. Табличное значение критерия $t_{\text{таб}}=4,3$. Рассчитанные значения не превышали значений таблицы.

Однородность тестируемой дисперсии проверяли в соответствии с критерием Кохрена. Табличное значение для условий испытаний – $G_{\text{таб}}=0,270$. Вычисленное значение критерия обработки данных силы резания было $G_{\text{расч}}=0,146$, что меньше значения таблицы. Вероятность $p=1-\alpha=0,95\%$, дисперсии повторностей в строках однородны.

Расчет коэффициентов регрессии для силы резания в зависимости от расчетных параметров:

$$Y=120,911-11,525 \cdot X_1-3,493 \cdot X_1^2+ \quad (3)$$

$$+12,492 \cdot X_2 + 5,157 \cdot X_2^2 + 24,733 \cdot X_3 - \\ -13,026 \cdot X_3^2 - 1,475 \cdot X_1 \cdot X_2 + \\ + 4,758 \cdot X_2 \cdot X_3 - 3,759 \cdot X_1 \cdot X_3.$$

Связь коэффициентов в кодированном масштабе с натуральными:

$$X_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}, \quad (4)$$

где:

$X_i, x_i, x_{i0}, \Delta x_i$ – кодированное, натуральное, натуральное на нулевом уровне и интервала варьирования, значения факторов, соответственно;

Получается

$$X_1 = \frac{\delta_n + 10}{5}; \quad X_2 = \frac{\gamma - 55}{5}; \quad X_3 = \frac{R - 0,125}{0,025}, \quad (5)$$

где:

δ_n – передний угол затачивания, град.;

γ – общий угол затачивания, град.;

R – радиус вращения режущей кромки, м.

Адекватность модели проверяли по F -критерию (критерию Фишера).

Критерий Фишера равен $F_{таб} = 2,51$, при 5% уровне значимости $if_{ад} = 11, f_y = 15$. Рассчитанный критерий Фишера $F_{расч} = 1,215$, меньше табличного, что показывает адекватность модели.

Значимость коэффициентов регрессии оценивали в соответствии с t -критерием Стьюдента, значение таблицы которого для уровня значимости 0,05 равно $t_{таб} = 4,3$. Вычисленный доверительный интервал равен $\Delta b = 5,447$.

Уравнение регрессии в декодированной форме имеет вид:

$$P_{y0} = -511,9 - 9,22 \cdot \delta_n - 0,461 \cdot \delta_n^2 + \\ + 2,498 \cdot \gamma + 6199,7 \cdot R - 20841,6 \cdot R^2. \quad (6)$$

Искомые критерии при оценке влияния на них переменных, анализируем уравнением регрессии в кодированных переменных. Рассматриваемые факторы эксперимента значительны. Далее приводим коэффициенты регрессии в порядке значимости $b_3 = 24,733$; $b_2 = 12,492$; $b_{33} = -13,026$ и $b_1 = -11,525$. Как можно видеть, наиболее существенным параметром является радиус вращения режущей кромки (X_3). Радиус вращения имеет положительные линейные и отрицательные квадратичные коэффициенты регрессии. Знак «+» перед коэффициентами регрессии радиуса вращения (X_3) и общего угла заточки (X_2) указывает, что увеличение значения коэффициентов вызывает увеличение

значения конкретной режущей силы. Воздействие переднего угла заточки (X_1) меньше. Особенностью его влияния является то, что он имеет значительный линейный коэффициент $b_1 = -11,525$, указывающий, что увеличение угла заточки спереди вызывает уменьшение удельной режущей силы. Коэффициенты регрессии при остальных членах полинома не значимы.

Результаты исследования. Из регрессионных уравнений видно, что крайняя точка располагается вне зоны определения кодированных переменных. Согласно этому проанализированы уравнения регрессии: взят один из коэффициентов при нуле и два других меняли. На рис. 1-3 показаны трехмерные сечения зависимости удельной режущей силы от переднего и общих углов заточки и радиуса вращения режущей кромки ножа.

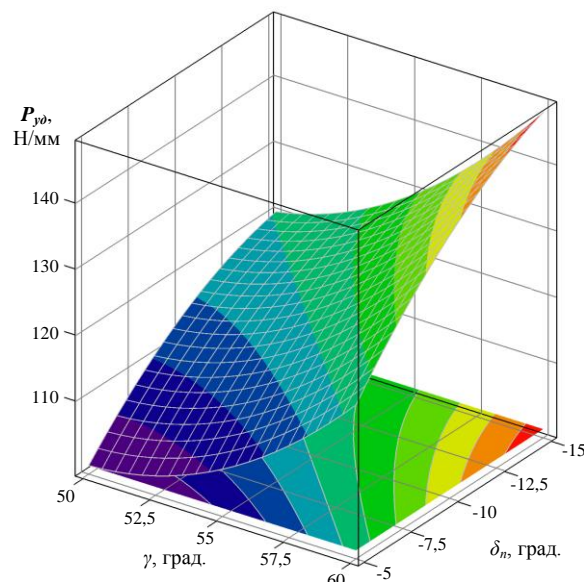


Рисунок 1 – Трехмерное сечение зависимости удельной силы P_{y0} резания древесины срезанных ветвей от переднего δ_n и общего γ углов заточки режущей кромки ножа

Как показано на рис. 2 и 3, удельная сила резания увеличивается с увеличением радиуса вращения режущей кромки ножа в квадратичном соотношении, достигая максимума вблизи верхнего предела изменения.

По мере увеличения общего угла заточки γ наблюдается значительное увеличение удельной режущей силы. По мере увеличения переднего угла заточки δ_n отмечается уменьшение режущей силы, но меньше, чем от общего угла заточки γ .

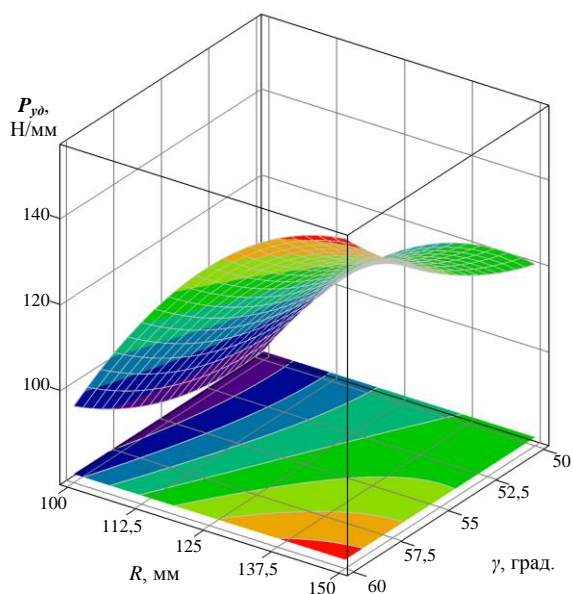


Рисунок 2 – Трехмерное сечение зависимости удельной силы P_{y0} резания древесины срезанных ветвей от общего угла заточки γ и радиуса вращения R режущей кромки ножа

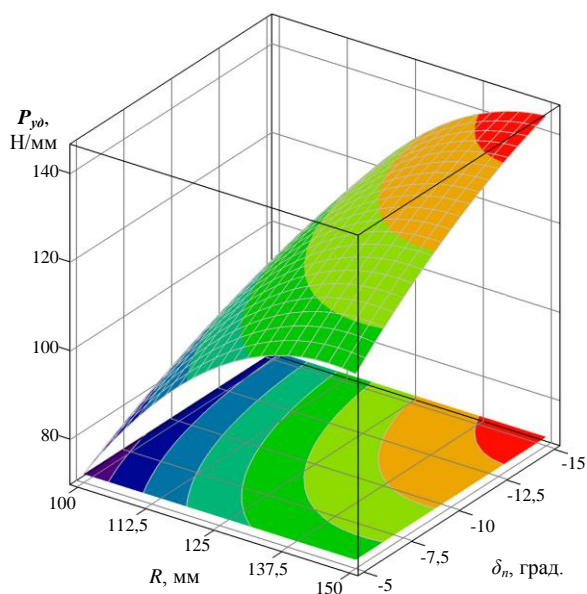


Рисунок 3 – Трехмерное сечение зависимости удельной силы P_{y0} резания древесины срезанных ветвей от переднего угла заточки δ_n и радиуса вращения R режущей кромки ножа

В пределах варьирования факторов экстремальных точек отклика не наблюдается, соответственно, оптимизация конструктивных параметров основывается на других критериях оптимальности. При этом обязательно учитывать характер зависимости специфической режущей силы от рассматриваемых структурных параметров.

Экспериментально установлена теоретическая зависимость удельной режущей силы от общего угла заточки ножа. Экспериментальные и теоретические кривые показаны на рисунке 4. График показывает отклонение кривой, построенной по уравнению регрессии (практическая), вверх по сравнению с теоретической кривой в среднем на 5%. Объясняется это влиянием менее значимых факторов. Наибольшее отклонение наблюдается в крайних точках 6% и 8%.

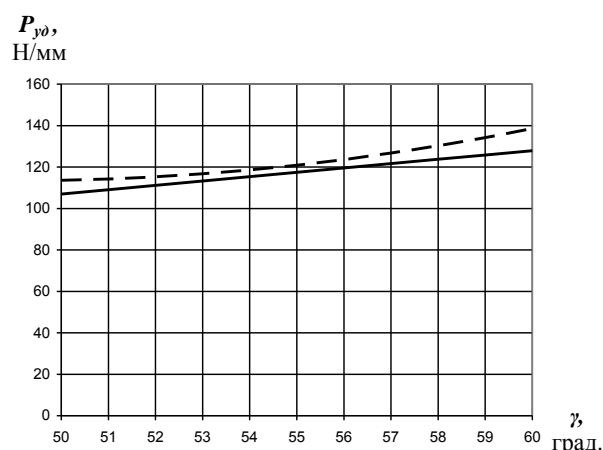


Рисунок 4 – Сравнительный график зависимости теоретической (—) и практической (---) удельной силы резания P_{y0} от угла заточки γ

Максимальным принимаем передний угол заточки, но с учетом обеспечения отсутствия защемления подаваемой ветви передней гранью ножа. Из-за чего для точной оценки по данному критерию предстоит проведение ряда дополнительных исследований.

Во время проведения опытов защемление ветвей происходило в редких случаях при значении переднего угла $\delta_n = -5^\circ$. Рекомендуется устанавливать значение переднего и заднего угла $\delta_n = 7^\circ - 10^\circ$; $\delta_z = 57^\circ - 60^\circ$, соответственно.

Влияния радиуса вращения R режущей кромки ножа совпадает с теоретическими исследованиями, изученными ранее. Отличием является влияние данного параметра на экспериментальные данные. При теоретическом исследовании процесса измельчения не были учтены явления, оказывающие минимальное влияние на удельную силу резания при увеличении радиуса вращения режущей кромки ножа (трение древесной массы о ножевые диски в

промежутке между резами и др). В качестве критерия, при оптимизации радиуса вращения режущей кромки ножа, была принята не только минимизация удельной режущей силы, но и обеспечение работоспособности и надежности конструкции ротора-измельчителя. Соответственно, мы рекомендуем радиус вращения режущей кромки ножа, равный $R=125$ мм. Оптимальные значения углов заточки граней ножей равны: $\delta_n=-10^\circ$, $\delta_3=60^\circ$, $R=120,2$ мм.

Область применения результатов. Результаты исследования могут быть

Литература

1. Балкаров Р.А., Заммоев А.У. Утилизация древесины срезанных ветвей плодовых деревьев в горном и предгорном садоводстве // Экология южного региона: матер. регион. научн. конф. молодых ученых Горского государственного агроуниверситета. – Владикавказ: ГГАУ, 2002. – С. 105-107.

2. Исследование энергоемкости ротационного режущего аппарата садовой косилки в условиях горного садоводства / Л.А. Шомахов, Р.А. Балкаров, З.С. Бекалдиев, А.У. Заммоев // III конференция молодых ученых: регион. сб. научн. трудов. Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – Нальчик, 2002. – С. 52-58.

3. Шомахов Л.А., Заммоев А.У. Мульчирование террас измельченной древесиной срезанных ветвей плодовых деревьев. // Матер.междун. конф. «Проблемы экологизации современного садоводства и пути их решения». –Краснодар: КГАУ, 2004. – 4 с.

4. Ресурсосберегающие машинные технологии возделывания плодовых культур для получения высококачественных плодов в условиях почвозащитного адаптивно-ландшафтного горного и предгорного садоводства (рекомендации) / Л.А. Шомахов, Р.А. Балкаров, З.С. Бекалдиев, А.У. Заммоев. – Нальчик: КБГСХА, 2004. – 76 с.

использованы на садоводческих и сельскохозяйственных предприятиях

Выводы. Разработана программа экспериментальных исследований двухвалковой роторной дробилки срезанных ветвей. Воплощена в жизнь экспериментально- лабора- торная установка для изучения работы измельчителя в зависимости от конструкции и параметров процесса, разработан метод проведения экспериментального исследования с использованием метода математического планирования эксперимента.

yzhnogo regiona: mater. region. nauchn. konf. molodyh uchenyh Gorskogo gosudarstvennogo agrouniversiteta. – Vladikavkaz: GGAU, 2002. – S. 105-107.

2. Issledovanie energoemkosti rotacionnogo rezhushchego apparata sadovoj kosilki v usloviyah gornogo sadovodstva / L.A. Shomahov, R.A. Balkarov, Z.S. Bekaldiev, A.U. Zammoev // III konferenciya molodyh uchenyh: region.sb. nauchn. trudov. Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN. – Nal'chik, 2002. – S. 52-58.

3. Shomahov L.A., Zammoev A.U. Mul'chirovanie terras izmel'chennoj drevesinoy srezannyh vetvej plodovyh derev'ev. // Mater. mezhdun. konf. «Problemy ekologizacii sovremennogo sadovodstva i puti ih resheniya». – Krasnodar: KGAU, 2004. – 4 s.

4. Resursosberegayushchie mashinnye tekhnologii vozdeleyvaniya plodovyh kul'tur dlya polucheniya vysokokachestvennyh plodov v usloviyah pochvozashchitnogo adaptivno-landshaftnogo gornogo i predgornogo sadovodstva (rekommendacii) / L.A. Shomahov, R.A. Balkarov, Z.S. Bekaldiev, A.U. Zammoev – Nal'chik: KBGSKHA, 2004. – 76 s.

References

1. Balkarov R.A., Zammoev A.U. Utilizaciya drevesiny srezannyh vetvej plodovyh derev'ev v gornom i predgornom sadovodstve // Ekologiya

