

УДК 631.3 (075.5)

UDC 631.3 (075.5)

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

Technologies and means of agricultural mechanization

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ФРЕЗЕРНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА АГРЕГАТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕЖДУРЯДИЙ И ПРИСТВОЛЬНЫХ ПОЛОС ПЛОДОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ**

**OPTIMIZATION OF PARAMETERS AND WORKING HOURS OF MILLING WORKING BODY OF THE UNIT FOR PROCESSING OF ROW-SPACINGS AND SPACE AROUND FRUIT PLANTINGS**

Хажметова<sup>1</sup> Алина Лиуановна  
аспирант  
SPIN – код автора: 8402-3461  
alinahazhmetova@yandex.ru

Hazhmetova<sup>1</sup> Alina Liuanovna  
graduate student  
RSCI SPIN - code: 8402-3461  
alinahazhmetova@yandex.ru

Апажев<sup>1</sup> Аслан Каральбиевич  
д.т.н., доцент  
SPIN – код автора: 1530-1950  
kbr.apagev@yandex.ru

Apazhev<sup>1</sup> Aslan Karalbiyevich  
Dr.Sci.Tech., associate professor  
RSCI SPIN - code: 1530-1950  
kbr.apagev@yandex.ru

Шекихачев<sup>1</sup> Юрий Ахметханович  
д.т.н., профессор  
SPIN – код автора: 4107-1360  
shek-fmep@mail.ru

Shekihachev<sup>1</sup> Yury Ahmethanovich  
Dr.Sci.Tech., Professor  
RSCI SPIN - code: 4107-1360  
shek-fmep@mail.ru

Хажметов<sup>1</sup> Лиуан Мухажевич  
д.т.н., профессор  
SPIN – код автора: 6145-0808  
hajmetov@yandex.ru

Hazhmetov<sup>1</sup> Liuan Mukhazhevich  
Dr.Sci.Tech., Professor  
RSCI SPIN - code: 6145-0808  
hajmetov@yandex.ru

Фиапшев<sup>1</sup> Амур Григорьевич  
к.т.н., доцент  
2111-4506  
SPIN – код автора:  
energo.kbr@rambler.ru

Fiapshev<sup>1</sup> Amur Grigoryevich  
Cand.Tech.Sci., associate professor  
RSCI SPIN - code: 2111-4506  
energo.kbr@rambler.ru

Курасов<sup>2</sup> Владимир Станиславович  
д.т.н., профессор  
SPIN-код автора: 7925-1853  
e-mail: kurasoff@gmail.com

Kurasov<sup>2</sup> Vladimir Stanislavovich  
Dr.Sci.Tech., Professor  
RSCI SPIN-code: 7925-1853  
e-mail: kurasoff@gmail.com

<sup>1</sup>Кабардино-Балкарская государственная аграрная академия наук и образования имени В.М. Кокова, Нальчик, Россия

<sup>1</sup>Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, Nalchik, Russia

<sup>2</sup>Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

<sup>2</sup>Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia

В целях дальнейшего увеличения производства плодовой продукции перспективными планами развития сельского хозяйства Российской Федерации предусматривается закладка новых садов интенсивного и суперинтенсивного типов. В связи с этим освоение склоновых земель и их использование под сады является актуальной социально-экономической проблемой. В настоящее время в Кабардино-Балкарской Республике посажены свыше 10 тыс. га интенсивных и

For further increase in production of fruit products, there are long-term plans of development of agriculture of the Russian Federation provide laying of new gardens of intensive and superintensive types. In this regard, development of slope lands and their use under gardens is a current social and economic problem. In the Kabardino-Balkarian Republic there are over 10 thousand hectares of intensive and superintensive gardens now. Therefore, large corporations, as well as medium and small business are engaged in production

суперинтенсивных садов. Производством плодов занимаются как крупные корпорации, так средний и малый бизнес. Одна из проблем, с которыми сталкиваются производители плодов – это нехватка техники по уходу за междурядьями и приствольными полосами плодовых насаждений. Механизированные технологии равнинного садоводства мало эффективны в условиях склонов, где главным лимитирующим фактором является почвенное плодородие. В то же время, остро стоит вопрос повышения плодородия почвы в приствольных полосах улучшения водного и пищевого режимов плодовых насаждений на склоновых землях. Таким образом, усовершенствование технологии и разработка новой конструкции агрегата, обеспечивающий выполнение нескольких взаимосвязанных технологических операций для обработки междурядий и приствольных полос плодовых насаждений, сохранение и повышение плодородия почв на склоновых землях является актуальной в условиях горного и предгорного садоводства Центральной Северного Кавказа. В результате проведенного анализа технологического процесса обработки междурядий и приствольных полос плодовых насаждений и результатов теоретических исследований в качестве критерия оптимизации принято качество крошения почвы. Наибольшее влияние на критерий оптимизации оказывают скорость передвижения агрегата, угловая скорость вращения фрезы и угол установки ножей. В результате проведения многофакторного эксперимента установлены оптимальные значения указанных факторов, обеспечивающие максимальное качество крошения почвы

Ключевые слова: ПОЧВА, СВОЙСТВА, АГРЕГАТ, ОБРАБОТКА, КРОШЕНИЕ, ПЛОДОВЫЕ НАСАЖДЕНИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ

of fruit. One of problems which producers of fruits face it is the shortage of the equipment on care of row-spacings and spaces around fruit plantings. The mechanized technologies of flat gardening are a little effective in the conditions of slopes where the main limiting factor is the soil fertility. At the same time, the issue of increase in fertility of the soil in space around fruit plantings, improvement of the water and food modes of fruit plantings on slope lands is particularly acute. Thus, improvement of technology and development of a new design of the unit, providing performance of several interconnected technological operations for processing of row-spacings and space around fruit plantings, preservation and increase in fertility of soils on slope lands is relevant in the conditions of mountain and foothill gardening Central the North Caucasus. As a result of the carried-out analysis of technological processing of row-spacings and space around fruit plantings and results of theoretical researches (as criterion of optimization) the quality of dyeing of the soil is accepted. Speed of movement of the unit, angular speed of rotation of a mill and the angle of installation of knives have the greatest impact on criterion of optimization. As a result of carrying out a multiple-factor experiment, we have established the optimum values of the specified factors providing the maximum quality of dyeing of the soil

Keywords: SOIL, PROPERTIES, UNIT, PROCESSING, DYEING, FRUIT PLANTINGS, MODELLING

DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-153-018>

Технологические процессы, используемые в равнинном садоводстве не достаточно эффективны в условиях горного и предгорного садоводства, отличающихся определенной спецификой и где главный ограничительный фактор – плодородие почвы.

Кроме того, в современных условиях приобретает особую остроту проблема интенсификации процесса создания гумусового слоя в приствольных полосах плодовых деревьев, улучшение их водного и пищевого режимов, особенно в условиях возделывания садов на склонах.

Анализ существующих систем содержания почвы в садоводстве свидетельствует о том, что предпочтение следует отдавать более рациональной системе – дерново-перегнойной, которая предусматривает скашивание травянистой растительности и оставление ее на почвенной поверхности в качестве мульчи.

В то же время существующие в настоящее время и применяемые в садах технические средства для скашивания растительности, например, косилки-измельчители, характеризуются относительно низкой частотой вращения ротационного рабочего органа ( $540...840 \text{ мин}^{-1}$ ), не гарантируют качественное измельчение травянистой растительности, не обеспечивают транспортировку измельченную массу к приствольным полосам плодовых насаждений [1].

Для того, чтобы интенсифицировать процесс создания гумусового слоя в приствольных полосах плодовых насаждений в садах на террасированных склонах и галечниковых землях следует разработать установку, которая бы включала косилку-измельчитель и фрезерный рабочий орган, которые гарантировали качественное выполнение ряда взаимосвязанных технологических приемов: качественный срез, измельчение травянистой растительности в междурядьях, укладку и смешивание мульчирующего материала с почвой в приствольных полосах при одновременном покрытии междурядья плодовых насаждений мульчирующим материалом.

С целью решения указанной проблемы разработан агрегат для обработки междурядий и приствольных полос плодовых деревьев [2-6], осуществляющий, с одной стороны – мульчирование, с другой – ускоренную гумуфикацию приствольных полос плодовых деревьев. Использование предлагаемой установки способствует улучшению водного и пищевого режим плодовых насаждений, созданию благоприятных

условий для развития микробиологических процессов в почве, обеспечивающих повышение плодородия почвы.

Основываясь на проведенном анализе технологического процесса обработки междурядий и приствольных полос плодовых деревьев и результатов теоретических исследований [2-6] установлено, что определяющая характеристика процесса работы фрезерного рабочего органа предлагаемого агрегата – качество крошения почвы. Исходя из этого параметр принят в качестве критерия оптимизации. Установлено, что наибольшее влияние на качество крошения почвы оказывают следующие параметры и режимы работы фрезерного рабочего органа: скорость передвижения агрегата  $V_{\Pi}$ ; угловая скорость вращения фрезы  $\omega_{\phi}$ ; угол установки ножей  $\gamma_H$  (табл. 1).

Таблица 1 – Факторы и уровни их варьирования

Шаг и уровни варьирования факторов	Кодированное (безразмерное) значение факторов	Натуральное значение факторов		
		$X_1$ ( $V_{\Pi}$ , км/ч)	$X_2$ ( $\omega_{\phi}$ , с <sup>-1</sup> )	$X_3$ ( $\gamma_H$ , град)
Шаг	-	0,5	15	10
Верхний	+1	2,5	55	70
Нулевой	0	2	40	60
Нижний	-1	1,5	25	50

Для установления оптимальных конструктивных параметров и режимов работы фрезерного рабочего органа агрегата, которые бы обеспечивали максимальное качество крошения почвы, проведен многофакторный эксперимент. С учетом трудоемкости опытов, при проведении экспериментов использован трехуровневый план Бокса-

Бенкина, который считается наиболее экономичным. Трехуровневый план Бокса-Бенкина предполагает определенную выборку из полного факторного эксперимента типа  $3^m$ , где  $m$  – количество факторов, а 3 – количество уровней варьирования каждой переменной (+1, 0, -1). Планирование экспериментов проводили с учетом надежности результатов опыта, равной 0,95, допустимой ошибки, равной  $\varepsilon = \pm s$  и количества повторностей опытов, равном 3.

В результате реализации всех опытов по рандомизированной схеме получена таблица 2, в которой имеются необходимые данные для статистического анализа результатов экспериментальных исследований.

Проверка значимости коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента показала, что за исключением  $b_{23}$  все коэффициенты значимы.

Основываясь на полученных результатах для оценки влияния варьирующих факторов на качество крошения почвы было составлено уравнение регрессии, имеющее вид:

$$Y_{K_{кр}} = 91,133 - 2,6175X_1 + 0,3463X_2 + 5,3888X_3 + 0,6025X_1X_2 - 0,568X_1X_3 - 8,4716X_1^2 - 5,2291X_2^2 - 8,0791X_3^2. \quad (1)$$

Проверка адекватности уравнения по критерию Фишера показала, что полученное уравнение регрессии адекватно описывает процесс работы фрезерного рабочего органа ( $F_{расч}=2,193 < F_{табл}=2,359$ ).

Уравнение регрессии (1) в раскодированном имеет следующий вид:

$$K_{кр} = 91,133 - 2,6175\left(\frac{V_{II} - 2}{0,5}\right) + 0,3463\left(\frac{\omega_{\phi} - 40}{15}\right) + 5,3888\left(\frac{\gamma_H - 60}{10}\right) + 0,6025\left(\frac{V_{II} - 2}{0,5}\right)\left(\frac{\omega_{\phi} - 40}{15}\right) - 0,568\left(\frac{V_{II} - 2}{0,5}\right)\left(\frac{\gamma_H - 60}{10}\right) - 8,4716\left(\frac{V_{II} - 2}{0,5}\right)^2 - 5,2291\left(\frac{\omega_{\phi} - 40}{15}\right)^2 - 8,0791\left(\frac{\gamma_H - 60}{10}\right)^2. \quad (2)$$

Таблица 2 – Результаты реализации матрицы планирования (критерий оптимизации – качество крошения почвы, %)

<i>i</i>	Фактор			Отклик			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>ср</sub>
1	1	1	0	78,2	73,3	76,8	76,1
2	1	-1	0	73,9	75,2	74,2	74,43
3	-1	1	0	78,8	81,7	77,2	79,23
4	-1	-1	0	80,4	80,4	79,1	79,97
5	0	0	0	90,8	89,5	92,1	90,8
6	1	0	1	75,2	77,8	76,5	76,5
7	1	0	-1	68,7	64,8	66,1	66,53
8	-1	0	1	84,3	83	84	83,77
9	-1	0	-1	70,2	73,2	71,2	71,53
10	0	0	0	90,8	92,8	92,1	91,9
11	0	1	1	84,6	81,7	83	83,1
12	0	1	-1	73,9	72,6	73,9	73,47
13	0	-1	1	84,3	81,7	83	83
14	0	-1	-1	72,6	71,3	71,3	71,73
15	0	0	0	90,4	91,2	90,5	90,7

В результате некоторых преобразований уравнение (2) примет вид:

$$K_{KP} = -402,42 + 133,907V_{II} + 1,7217\omega_{\phi} + 10,4608\gamma_H + 0,0803V_{II}\omega_{\phi} - 0,1135V_{II}\gamma_H - 33,886V_{II}^2 - 0,0232\omega_{\phi}^2 - 0,0808\gamma_H^2. \quad (3)$$

С целью установить значения факторов, которые бы обеспечивали максимальное качество крошения почвы, составлена система дифференциальных уравнений, представляющих частные производные по трем факторам:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dY_{K_{кр}}}{dX_1} = -2,6175 + 0,6025X_2 - 0,568X_3 - 16,9432X_1 = 0 \\ \frac{dY_{K_{кр}}}{dX_2} = 0,3463 + 0,6025X_1 - 10,4582X_2 = 0 \\ \frac{dY_{K_{кр}}}{dX_3} = 5,3888 - 0,568X_1 - 16,1582X_3 = 0 \end{array} \right. \quad (4)$$

Решениями системы уравнений (4) являются оптимальные значения факторов в кодированном виде:

$$X_1 = -0,165; X_2 = 0,024; X_3 = 0,339.$$

После раскодирования получены натуральные значения факторов:  $V_{II} = 1,92$  км/ч,  $\omega_{\phi} = 40,4$  с<sup>-1</sup> и  $\gamma_H = 63^0$ . При этих значения гарантируется максимальное качество крошения почвы (92,3%).

Проверку воспроизводимости эксперимента проводили по критерию Кохрена. Его расчетное значение равно:

$$G_{расч} = 0,221.$$

При 5% уровне значимости,  $f_1=2$ ,  $f_2=15$  табличное значение критерия Кохрена  $G_{табл}=0,335$ . Учитывая, что расчетное значение критерия Кохрена меньше табличного, то считаем, что гипотеза об однородности дисперсий подтверждается.

Уравнение регрессии при нулевом уровне угла установки ножа ( $\gamma_H = 60^0$ ) имеет вид:

$$K_{кр} = -65,18 + 127,09V_{II} + 1,7217\omega_{\phi} + 0,0803V_{II}\omega_{\phi} - 33,886V_{II}^2 - 0,0232\omega_{\phi}^2. \quad (5)$$

Поверхность отклика при изменении скорости передвижения агрегата и угловой скорости вращения фрезы (при нулевом уровне угла установки ножа) представлена на рисунке 1.

Уравнение регрессии при нулевом уровне угловой скорости вращения фрезы ( $\omega_{\phi} = 40$  с<sup>-1</sup>) имеет вид:



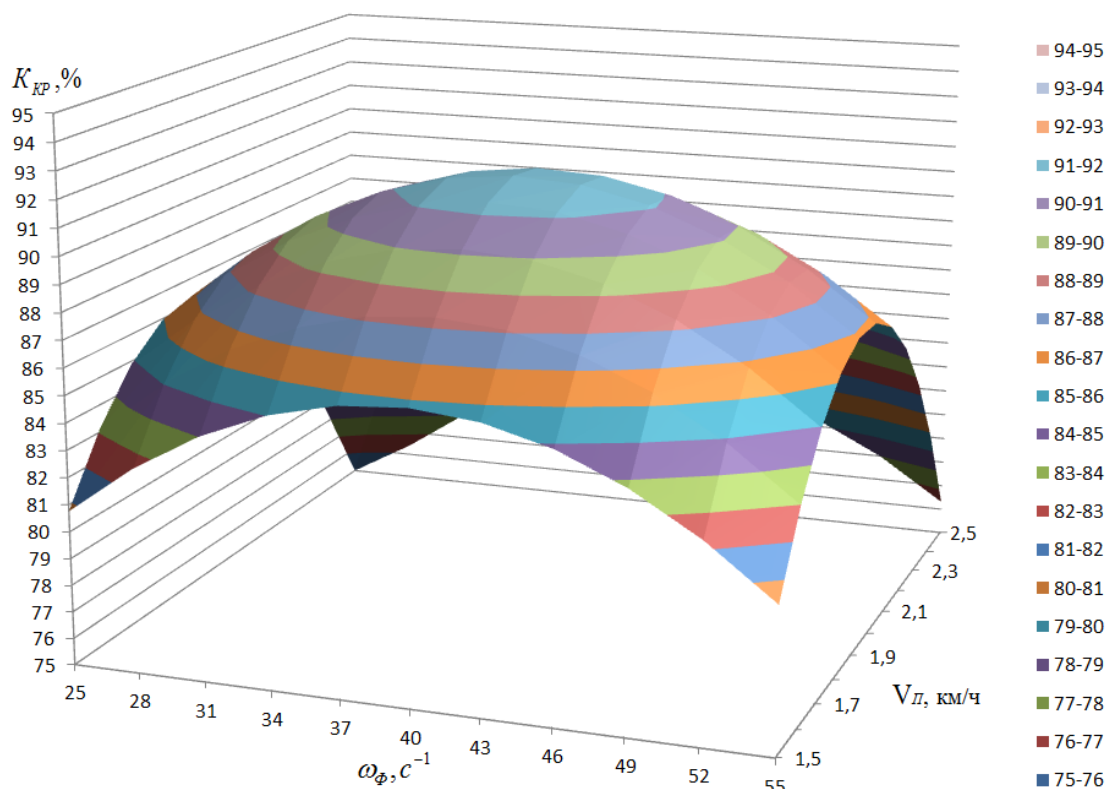


Рисунок 1 – Поверхность отклика  $f(V_{П}, \omega_{\Phi})$  при нулевом уровне  $\gamma_H = 60^0$

$$K_{KP} = -370,36 + 137,11V_{П} + 10,4608\gamma_H - 0,1135V_{П}\gamma_H - 33,886V_{П}^2 - 0,0808\gamma_H^2. \tag{6}$$

Поверхность отклика при изменении скорости передвижения агрегата и угла установки ножа (при нулевом уровне угловой скорости вращения фрезы) представлена на рисунке 2.

Уравнение регрессии при нулевом скорости передвижения ( $V_{П} = 2$  м/с) имеет вид:

$$K_{KP} = -270,15 + 1,8823\omega_{\Phi} + 10,2336\gamma_H - 0,0232\omega_{\Phi}^2 - 0,0808\gamma_H^2. \tag{7}$$

Поверхность отклика при изменении угловой скорости вращения фрезы и угла установки ножа (при нулевом уровне скорости передвижения агрегата) представлена на рисунке 3.



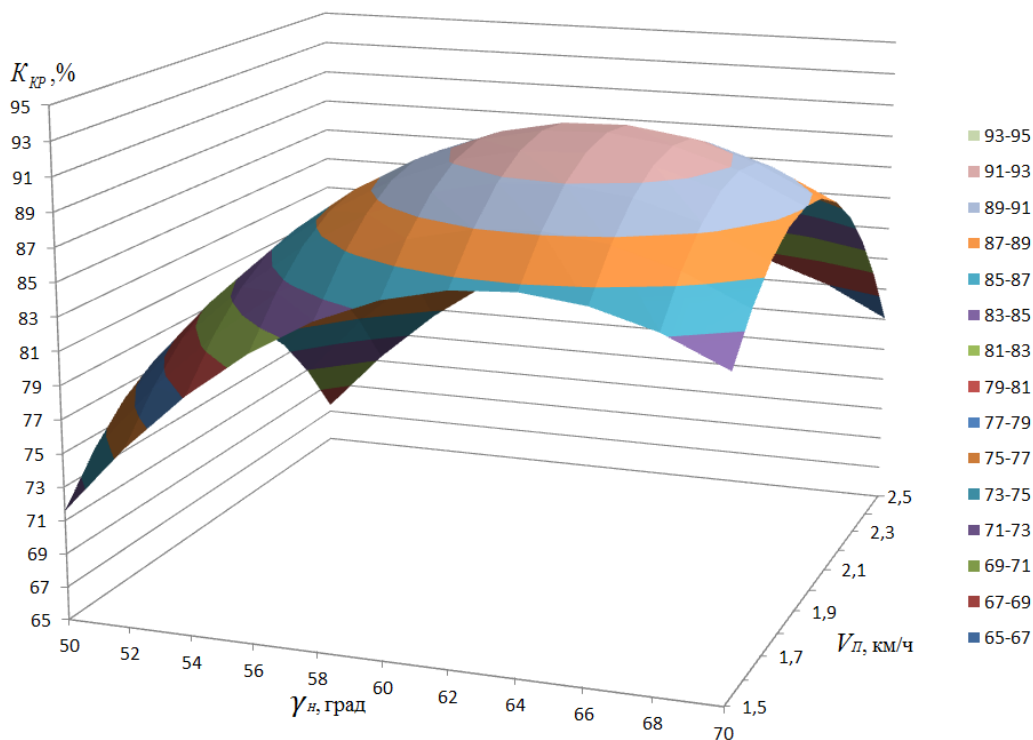


Рисунок 2 – Поверхность отклика  $f(V_{II}, \gamma_H)$  при нулевом уровне  $\omega_\phi = 40 \text{ c}^{-1}$

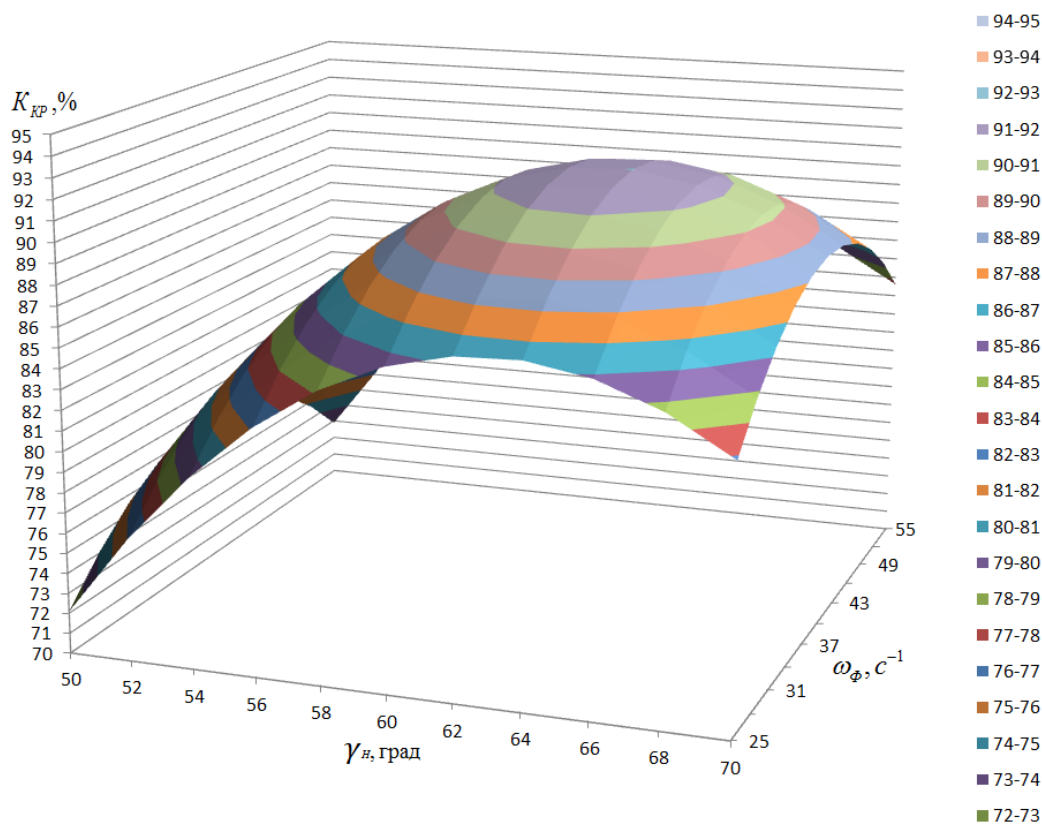


Рисунок 3 – Поверхность отклика  $f(\omega_\phi, \gamma_H)$  при нулевом уровне  $V_{II} = 2 \text{ м/с}$

**Вывод:**

В результате проведенного многофакторного эксперимента установлено, что максимальное качество крошения почвы (92,3%) гарантируется при следующих значениях варьирующих факторов: скорость передвижения агрегата  $V_{II}=1,92$  м/с, угловая скорость вращения фрезы  $\omega_{\phi} = 40,4$  с<sup>-1</sup> и угол установки ножа  $\gamma_H = 63^{\circ}$ .

**Список использованной литературы**

1. Апажев, А.К. Инновационные технологические и технические решения по повышению плодородия почв в условиях склоновых эродированных черноземных почв Юга России / А.К. Апажев, Ю.А. Шекихачев, Л.М. Хажметов. – Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2017.- 344 с.
2. Шекихачев, Ю.А. Обоснование конструктивно-технологической схемы технического средства для создания гумусового слоя в приствольных полосах плодовых насаждений / Ю.А. Шекихачев, А.Л. Хажметова, А.А. Шекихачев // В сборнике: Инженерное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса России Сборник научных трудов VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 75-летию со дня рождения Х.Г. Урусамбетова.- 2018.- С. 249-251.
3. Хажметова, А.Л. Установка для создания гумусового слоя в приствольных полосах плодовых насаждений в садах на террасах / А.Л. Хажметова, Ю.А. Шекихачев // В сборнике: Мировые научно-технологические тенденции социально-экономического развития АПК и сельских территорий. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию окончания Сталинградской битвы.- 2018.- С. 278-282.
4. Патент РФ на полезную модель № №178374. Установка для создания гумусового слоя в приствольных полосах плодовых насаждений на террасах и галечниковых землях / А.К. Апажев, В.Н. Бербеков, Ю.А. Шекихачев, А.Л. Хажметова и др. Патентообладатель Кабардино-Балкарский ГАУ. Оpubл. 02.04.2018. Бюл. №10.
5. Шекихачев, Ю.А. Установка для обработки приствольных полос / Ю.А. Шекихачев, Е.А. Полищук, А.Л. Хажметова // Материалы XIII Международная НПК «Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК» (5-7 апреля, 2017г., г. Ставрополь).- Ставрополь, 2017.- С. 125-128.
6. Хажметова, А.Л. Инновационная биотехнология и техническое средство для создания гумусового слоя в приствольных полосах плодовых насаждений / А.Л. Хажметова, Ю.А. Шекихачев // Материалы VII Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективные инновационные проекты молодых ученых.- Нальчик, 2017.- С.155-159.

**References**

1. Apazhev, A.K. Innovative technology and technical solutions on increase in fertility of soils in the conditions of slope bald-headed chernozem soils of the South of Russia / A.K. Apazhev, Yu.A. Shekikhachev, L.M. Hazhmetov. – Nalchik: Kabardino-Balkarian GAU, 2017. - 344 pages.
2. Shekikhachev, Yu.A. Justification of the constructive and technological scheme of

the technical tool for creation of a humic layer in the pristvolnykh strips of fruit plantings / Yu.A. Shekikhachev, A.L. Hazhmetova, A.A. Shekikhachev//In the collection: Engineering support of innovative development of agro-industrial complex of Russia the Collection of scientific works of the VII All-Russian scientific and practical conference devoted to the 75 anniversary since the birth of H.G. Urusmambetov. - 2018.-Page 249-251.

3. Hazhmetova, A.L. Installation for creation of a humic layer in space around fruit plantings in gardens on terraces / A.L. Hazhmetova, Yu.A. Shekikhachev // In the collection: Global scientific and technological trends in social and economic development of agrarian and industrial complex and rural territories. Materials of the International scientific and practical conference devoted to the 75 anniversary of the end of the Battle of Stalingrad. - 2018.-Page 278-282.

4. Patent of the Russian Federation for useful model No. No. 178374. Installation for creation of a humic layer in space around fruit plantings on terraces and pebble lands / A.K. Apazhev, V.N. Berbekov, Yu.A. Shekikhachev, A.L. Hazhmetova, etc. Patent holder Kabardino-Balkarian GAU. Opubl. 02.04.2018. Bulletin No. 10.

5. Shekikhachev, Yu.A. Installation for processing of space around fruit plantings / Yu.A. Shekikhachev, E.A. Polishchuk, A.L. Hazhmetova//Materials XIII the International NPK "Current Problems of Scientific and Technical Progress in Agrarian and Industrial Complex" (on April 5-7, 2017, Stavropol).-Stavropol, 2017. - Page 125-128.

6. Hazhmetova, A.L. Innovative biotechnology and the technical tool for creation of a humic layer in space around fruit plantings / A.L. Hazhmetova, Yu.A. Shekikhachev // Materials VII of the All-Russian conference of students, graduate students and young scientists "Perspective innovative projects of young scientists. - Nalchik, 2017. - Page 155-159.