

УДК 627.84

**ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЗРАЗМЕРНЫХ
РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
РЕГУЛИРУЮЩЕГО ОРГАНА,
ЛЕНТОЧНОГО РЕГУЛЯТОРА РАСХОДА
ВОДЫ, МЕТОДОМ ПЛАНИРОВАНИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТА**

Коженко Наталья Владимировна
соискатель
*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

В статье предлагается ленточный регулятор расхода и уровня воды для рисовых чеков. При помощи метода планирования эксперимента осуществлены гидравлические исследования ленточного регулятора.

Ключевые слова: РЕГУЛЯТОР, РАСХОД ВОДЫ, ЭКСПЕРИМЕНТ, МЕТОД, ХАРАКТЕРИСТИКИ, ЛЕНТОЧНЫЙ РЕГУЛЯТОР, РИСОВЫЙ ЧЕК

UDC 627.84

**RESEARCH OF DIMENSIONLESS ACCOUNT
CHARACTERISTICS OF REGULATOR, TAPE
REGULATOR OF A CONSUMPTION OF
WATER, METHOD OF PLANNING OF
EXPERIMENT**

Kozhenko Natalia Vladimirovna
competitor
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

In the article we have offered the tape regulator of an expense and a water level for rice checks. By means of a method of planning of experiment with hydraulic researches of the tape regulator are carried out

Keywords: REGULATOR, CONSUMPTION OF WATER, EXPERIMENT, METHOD, CHARACTERISTICS, TAPE REGULATOR, RICE CHECK

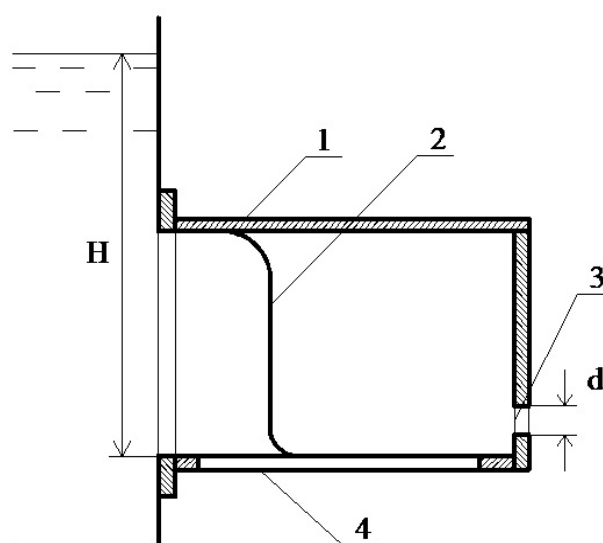
Регулирование уровня воды в рисовом чеке, с учетом того, что оно должно быть двухсторонним, является наиболее актуальной задачей. Ведь такое регулирование должно обеспечивать не только плановую водоподачу, но и плановое водоотведение. Рисовый чек должен быть достаточно осушен, как к периоду уборки урожая, так и к периоду посева. При этом плановая водоподача включает возможность поддержания различных уровней воды в чеке в различные периоды, такие как: первичное затопление чека; борьба с сорняками; первичной вегетации; фазы кущения; вегетации молочной и восковой спелости.

На каждом из рассмотренных периодов состояния чека необходим управляемый уровень воды, что качественно может быть реализовано лишь при применении систем автоматического регулирования (САР). В работе [1, 2] рассмотрены технологические аспекты САР водораспределением на рисовых чеках, с акцентом на гидравлические регуляторы уровня воды.

В работе [3] на основе анализа существующих и предложенных регуляторов уровня и расхода воды, для рисовых чеков, обоснованно

применение ленточных регуляторов, по совокупности положительных признаков.

Ленточный регулирующий орган представленный на рисунке 1, содержит водовыпускную трубу 1 прямоугольного сечения с седлом 4. Внутри водовыпускной трубы 1 размещен запорный орган, выполненный в виде гибкой ленты 2, закрепленной одним концом к верхней стенке водовыпускной трубы 1, а другим – к основанию седла 4. Гибкая лента 2 образует с корпусом водовыпускной трубы 1 управляющую полость, вода из которой сбрасывается через сливное отверстие 3.



1 – водовыпускная труба; 2 – гибкая лента;

3 – сливное отверстие; 4 – седло

Рисунок 1 - Принципиальная схема ленточного регулятора расхода воды

Ленточный регулирующий орган работает следующим образом. Вода с верхнего бьефа через зазоры между кромками гибкой ленты 2 и боковыми стенками водовыпускной трубы 1 поступает в управляющую полость и сбрасывается из неё через сливное отверстие 3. При этом гибкая лента 2 частично перекрывает проходное сечение седла 4, обеспечивая сброс воды через него в нижний бьеф. Изменение открытия проходного

сечения седла 4 осуществляется путем регулирования сброса воды из управляющей полости.

В работе была поставлена задача: определить относительный расход воды $\frac{Q}{Q_{\max} \cdot 100} \%$, пропускаемый ленточным регулирующим органом. Исследование именно относительного расхода воды, пропускаемого ленточным регулирующим органом, вызвано необходимостью расширения области применения полученных результатов и перевода их в разряд универсальных. Задача решалась нахождением функции отклика на основе экспериментального исследования, методом планирования эксперимента [4].

В исследовании независимыми переменными приняты следующие факторы:

1) $\frac{H}{H_{\max}}$ – относительный уровень воды в верхнем бьефе;

2) $\frac{d}{d_{\max}}$ – относительный диаметр сливного отверстия из управляющей полости ленточного регулирующего органа.

Функцию отклика $\frac{Q}{Q_{\max} \cdot 100} \% = f\left(\frac{H}{H_{\max}}, \frac{d}{d_{\max}}\right)$ было решено аппроксимировать полиномом второй степени, учитывая априорную информацию. Эксперимент проведен по программе центрального композиционного планирования второго порядка. Принятые в исследовании уровни и интервалы варьирования факторов указаны в таблице 1.

Таблица 1 - Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Кодовое обозначение	Интервалы варьирования	Уровни факторов		
			Основной 0	Верхний +1	Нижний -1
H/H max	X ₁	0,200	0,800	1,000	0,600

d/d max	X ₂	0,125	0,875	1,000	0,750
---------	----------------	-------	-------	-------	-------

Матрица планирования и результаты опытов приведены в таблице 2, при этом в центре плана выполнена серия из трех опытов, указанных под номерами 9, 10 и 11.

В таблице 3 приведена полученная в ходе проведения опытов матрица X плана эксперимента с фактическими результатами эксперимента Y .

Центральный композиционный план второго порядка для двух факторов и результаты эксперимента позволяют оценить коэффициенты полинома вида:

$$y = b_0x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2. \quad (1)$$

$$\text{Введем обозначения: } x_0 = 1, \quad x_3 = x_1x_2, \quad x_4 = x_1^2, \quad x_5 = x_2^2.$$

С учетом принятых обозначений уравнение (1) примет вид:

$$y = b_0x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5. \quad (2)$$

Коэффициенты уравнения (2) находим по выражению:

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y, \quad (3)$$

где

B – вектор-столбец, состоящий из коэффициентов уравнения (2);

X – матрица условий эксперимента;

X^T – матрица, транспонированная к матрице X ;

$(X^T X)^{-1}$ – матрица, обратная матрице-произведению $(X^T X)$;

Y – вектор-столбец результатов наблюдений.

Для вычисления коэффициентов b_0, b_1, \dots, b_5 составим X-матрицу условий эксперимента и Y-матрицу наблюдений, перейдя в среду Mathcad:

$$X = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}; \quad Y = \begin{pmatrix} 88.048 \\ 53.929 \\ 21.307 \\ 14.82 \\ 100 \\ 77.59 \\ 72.945 \\ 19.447 \\ 91.547 \\ 90.493 \\ 90.601 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Транспонируем X-матрицу:

$$X^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Умножим слева X-матрицу и Y-матрицу на матрицу X^T :

$$X^T \cdot X = \begin{pmatrix} 11 & 0 & 0 & 0 & 6 & 6 \\ 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 6 & 0 & 0 & 0 & 6 & 4 \\ 6 & 0 & 0 & 0 & 4 & 6 \end{pmatrix}; \quad X^T \cdot Y = \begin{pmatrix} 720.727 \\ 63.017 \\ 159.348 \\ 27.632 \\ 355.693 \\ 270.495 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Находим матрицу $(X^T X)^{-1}$, обратную матрице $(X^T X)$:

$$(X^T \cdot X)^{-1} = \begin{pmatrix} 0.263 & 0 & 0 & 0 & -0.158 & -0.158 \\ 0 & 0.167 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.167 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 \\ -0.158 & 0 & 0 & 0 & 0.395 & -0.105 \\ -0.158 & 0 & 0 & 0 & -0.105 & 0.395 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Таблица 2 - Центральный композиционный план второго порядка для двух факторов с тремя опытами в центре плана

Номер опыта	Факторы (кодированные значения)		Факторы (натуральные значения)		Отклик	
	x_1	x_2	$\frac{H}{H_{\max}}$	$\frac{d}{d_{\max}}$	$\frac{Q}{Q_{\max}} \cdot 100\%$	
Ядро плана	1	+1	+1	1,000	1,000	88,048
	2	-1	+1	0,600	1,000	53,929
	3	+1	-1	1,000	0,750	21,307
	4	-1	-1	0,600	0,750	14,820
Звездные точки	5	$\alpha = +1$	0	1,000	0,875	100,000
	6	$\alpha = -1$	0	0,600	0,875	77,590
	7	0	$\alpha = +1$	0,800	1,000	72,945
	8	0	$\alpha = -1$	0,800	0,750	19,447
Центр плана	9	0	0	0,800	0,875	91,547
	10	0	0	0,800	0,875	90,493
	11	0	0	0,800	0,875	90,601

Таблица 3 - Матрица X для центрального композиционного плана второго порядка

Номер опыта	Матрица X						Результат		
	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	x_1^2	x_2^2	y_j	\bar{y}_j	
Ядро плана	1	+1	+1	+1	+1	+1	88,048	88,429	
	2	+1	-1	+1	-1	+1	53,929	53,607	
	3	+1	+1	-1	-1	+1	21,307	21,497	
	4	+1	-1	-1	+1	+1	14,820	14,307	
Звездные точки	5	+1	$\alpha = +1$	0	0	$\alpha^2 = +1$	100,000	99,429	
	6	+1	$\alpha = -1$	0	0	$\alpha^2 = +1$	77,590	78,423	
	7	+1	0	$\alpha = +1$	0	0	$\alpha^2 = +1$	72,945	72,885
	8	+1	0	$\alpha = -1$	0	0	$\alpha^2 = +1$	19,447	19,769
Центр плана	9	+1	0	0	0	0	91,547	90,793	
	10	+1	0	0	0	0	90,493	90,793	
	11	+1	0	0	0	0	90,601	90,793	

Определяем коэффициенты b_0, b_1, \dots, b_m :

$$(X^T \cdot X)^{-1} \cdot (X^T \cdot Y) = \begin{pmatrix} 90.793 \\ 10.503 \\ 26.558 \\ 6.908 \\ -1.867 \\ -44.466 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Дисперсию S_y^2 воспроизводимости эксперимента определяем по результатам опытов в центре плана:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} (y_u - \bar{y})^2}{n_0 - 1}, \quad (9)$$

где

n_0 – число параллельных опытов в центре плана;

y_u – значение функции отклика в u -м опыте;

\bar{y} – среднее арифметическое значение функции отклика в n_0 опытах;

n – номер параллельного опыта в центре плана.

Для вычисления S_y^2 составим вспомогательную таблицу 4.

Дисперсии $s^2\{b_i\}$ коэффициентов регрессии находим по выражению

$$s^2\{b_i\} = c_{ii} S_y^2. \quad (10)$$

где

c_{ii} – диагональные элементы матрицы $(X^T X)^{-1}$;

$$s^2\{b_0\} = 0,263 S_y^2 = 0,0884;$$

$$s^2\{b_1\} = s^2\{b_2\} = 0,167 S_y^2 = 0,0562;$$

$$s^2\{b_{12}\} = 0,250S_{\bar{y}}^2 = 0,0841;$$

$$s^2\{b_{11}\} = s^2\{b_{22}\} = 0,395S_{\bar{y}}^2 = 0,1328.$$

Статистическую значимость коэффициентов уравнения регрессии проверяем по t-критерию Стьюдента, для чего определяем наблюдаемые значения этого критерия:

$$t_0 = \frac{|b_0|}{s\{b_0\}} = 305,3699; t_1 = \frac{|b_1|}{s\{b_1\}} = 44,3042; t_2 = \frac{|b_2|}{s\{b_2\}} = 112,0282;$$

$$t_{12} = \frac{|b_{12}|}{s\{b_{12}\}} = 23,8207; t_{11} = \frac{|b_{11}|}{s\{b_{11}\}} = 5,1232; t_{22} = \frac{|b_{22}|}{s\{b_{22}\}} = 122,0194.$$

При 5%-ном уровне значимости и числе степеней свободы 2 табличное значение критерия $t_T=4,303$. Оно меньше наблюдаемых значений критериев t для всех коэффициентов уравнения регрессии, следовательно, все они являются статистически значимыми.

Адекватность полученной модели проверяем с помощью F-критерия Фишера:

$$(11)$$

где

– дисперсия адекватности;

$S_{\bar{y}}^2$ – дисперсия воспроизводимости эксперимента.

Для определения вычисляем сумму S_R квадратов отклонений расчетных \bar{y}_j значений функции отклика от экспериментальных y_j во всех точках плана, для чего перейдем в среду Mathcad.

Таблица 4 - Вспомогательная таблица для расчета

Номер опыта	y_u	\bar{y}	$y_u - \bar{y}$	$(y_u - \bar{y})^2$	$S_{\bar{y}}^2$
1	91,5474	$\bar{y} = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} y_u}{n_0} =$ $= \frac{272,6421}{3} = 90,880$ <p style="text-align: center;">7</p>	0,6667	0,4445	$S_{\bar{y}}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} (y_u - \bar{y})^2}{n_0 - 1} =$ $= \frac{0,6726}{3 - 1} = 0,3363$
2	90,4934		-0,3873	0,1500	
3	90,6013		-0,2794	0,0781	
	$\sum_{u=1}^{n_0} y_u = 272,6421$			$\sum_{u=1}^{n_0} (y_u - \bar{y})^2 = 0,6726$	

Вычислим матрицу расчетных значений:

$$X \cdot \left[(X^T \cdot X)^{-1} \cdot (X^T \cdot Y) \right] = \begin{pmatrix} 88.429 \\ 53.607 \\ 21.497 \\ 14.307 \\ 99.429 \\ 78.423 \\ 72.885 \\ 19.769 \\ 90.793 \\ 90.793 \\ 90.793 \end{pmatrix} \cdot \quad (12)$$

Вычислим матрицу отклонений расчетных значений функции отклика от экспериментальных:

$$Y - X \cdot \left[(X^T \cdot X)^{-1} \cdot (X^T \cdot Y) \right] = \begin{pmatrix} -0.381 \\ 0.321 \\ -0.19 \\ 0.512 \\ 0.571 \\ -0.834 \\ 0.06 \\ -0.323 \\ 0.754 \\ -0.3 \\ -0.192 \end{pmatrix} \cdot \quad (13)$$

Определим суммы квадратов отклонений расчетных значений функции отклика от экспериментальных:

$$\left[Y - X \cdot \left[(X^T \cdot X)^{-1} \cdot (X^T \cdot Y) \right] \right]^T \cdot \left[Y - X \cdot \left[(X^T \cdot X)^{-1} \cdot (X^T \cdot Y) \right] \right] = 2.372 \quad (14)$$

Из полученной суммы S_R вычитаем сумму S_E , использованную для определения дисперсии S_y по результатам опытов в центре плана:

$$s_E = \sum_{u=1}^{n_0} (y_u - \bar{y})^2 = 0,673. \quad (15)$$

Полученный результат $(s_R - s_E) = 2,372 - 0,673 = 1,699$ делим на число степеней свободы $f = N - k - (n_0 - 1) = 3$, где N – число опытов в матрице планирования, а k – число статистически значимых коэффициентов регрессии. Таким образом:

$$(16)$$

В результате имеем по формуле (6):

$$(17)$$

Табличное значение F_T -критерия при 5%-ном уровне значимости и числах степеней свободы для числителя 3 и для знаменателя 2 равно 19,16 $F_P < F_T$. Следовательно, модель адекватна.

В результате уравнение (2) принимает вид:

$$y = 90,793x_0 + 10,503x_1 + 26,558x_2 + 6,908x_3 - 1,867x_4 - 44,466x_5. \quad (18)$$

Переходя от переменных x_3, x_4, x_5 к x_1x_2, x_1^2, x_2^2 , получим искомое уравнение:

$$y = 90,793 + 10,503x_1 + 26,558x_2 + 6,908x_1x_2 - 1,867x_1^2 - 44,466x_2^2. \quad (19)$$

Кодированные значения факторов связаны с натуральными следующими зависимостями:

$$x_1 = \frac{\frac{H}{H_{\max} - H_0}}{\frac{H_{\max} - H_0}{\varepsilon_1}} = \frac{H}{H_{\max} - 0,8}; \quad (20)$$

(21)

где

H_0, d_0 – основные уровни факторов в натуральных выражениях;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – интервалы варьирования факторов.

Переходя от кодированных x_1, x_2 значений факторов к натуральным

$\frac{H}{H_{\max \square}}, \frac{d}{d_{\max \square}}$, получим функцию отклика

$$\frac{Q}{Q_{\max \square 100}} \% = f\left(\frac{H}{H_{\max \square}}, \frac{d}{d_{\max \square}}\right):$$

$$\begin{aligned} \frac{Q}{Q_{\max \square 100}} \% = & 90,793 + 10,503 \times \left(\frac{H}{H_{\max \square} - 0,8}\right) + 26,558 \times \\ & \times \left(\frac{d}{d_{\max \square} - 0,875}\right) + 6,908 \times \left(\frac{H}{H_{\max \square} - 0,8}\right) \times \left(\frac{d}{d_{\max \square} - 0,875}\right) - \\ & - 1,867 \times \left(\frac{H}{H_{\max \square} - 0,8}\right)^2 - 44,466 \times \left(\frac{d}{d_{\max \square} - 0,875}\right)^2. \end{aligned} \quad (22)$$

После преобразования:

$$\begin{aligned} \frac{Q}{Q_{\max \square 100}} \% = & -2152,407 - 114,585 \left(\frac{H}{H_{\max \square}}\right) + \\ & + 4971,600 \left(\frac{d}{d_{\max \square}}\right) + 276,320 \left(\frac{H}{H_{\max \square}}\right) \left(\frac{d}{d_{\max \square}}\right) - \\ & - 46,675 \left(\frac{H}{H_{\max \square}}\right)^2 - 2845,824 \left(\frac{d}{d_{\max \square}}\right)^2. \end{aligned} \quad (23)$$

Это уравнение адекватно, поэтому его можно использовать как интерполяционную формулу для вычисления величины $\frac{Q}{Q_{max}} \cdot 100\%$ в области планирования эксперимента.

Поверхность функции отклика по полученному уравнению представлена на рисунке 2, а на рисунке 3 представлен график линий

уровня функции отклика $\frac{Q}{Q_{max}} \cdot 100\% = f\left(\frac{H}{H_{max}}, \frac{d}{d_{max}}\right)$.

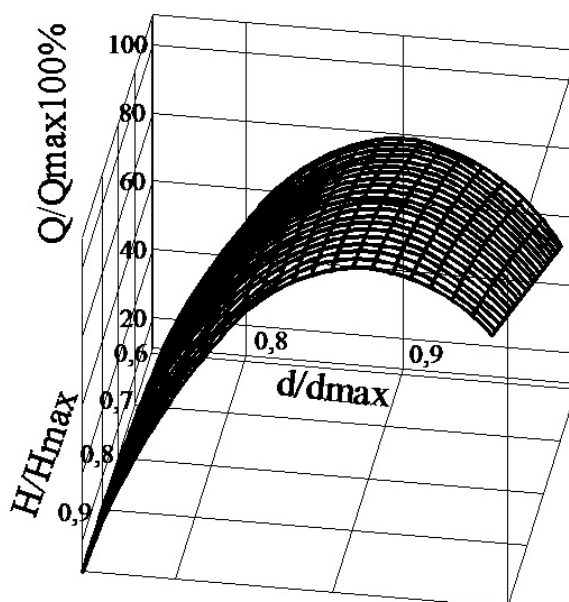


Рисунок 2- График поверхности функции отклика $\frac{Q}{Q_{max}} \cdot 100\% = f\left(\frac{H}{H_{max}}, \frac{d}{d_{max}}\right)$

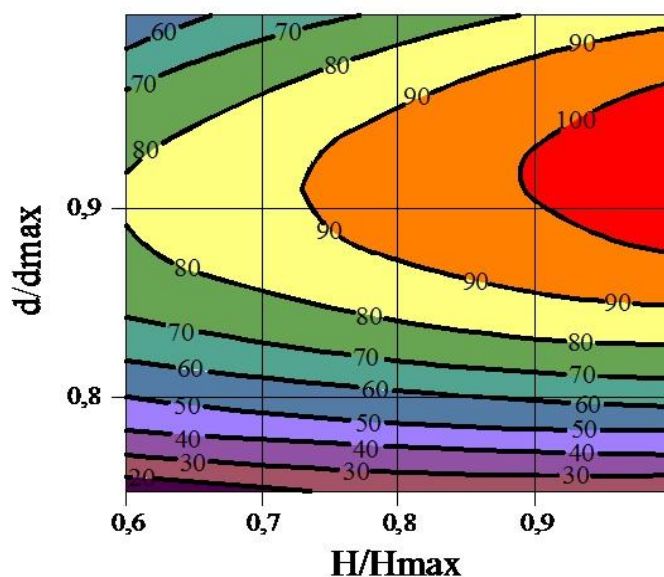


Рисунок 3- График линий уровня функции

$$\frac{Q}{Q_{\max}} 100\% = f\left(\frac{H}{H_{\max}}, \frac{d}{d_{\max}}\right)$$

Представленные на рисунке 2 и 3 графики показывают, что практически область эксперимента, по факторному пространству, находится в квазиоптимальной зоне. Осуществим анализ полученных графических зависимостей.

Как видно на рисунках 2 и 3, с увеличением отношения $\frac{H}{H_{\max}}$, во всем диапазоне изменения, от 0,6 до 1,0, при нахождении параметра $\frac{d}{d_{\max}}$ от 0,6 до 0,8 значения функции отклика $\frac{Q}{Q_{\max}} 100\%$ имеют слабую тенденцию к уменьшению. Однако и здесь прослеживается тренд повышения влияния отношения $\frac{d}{d_{\max}}$ с его увеличением, на увеличение степени влияния на уменьшение функции отклика.

С увеличением отношения $\frac{d}{d_{\max}}$, в диапазоне изменения, от 0,8 до 0,9 значения функции отклика $\frac{Q}{Q_{\max}} 100\%$ имеют ярко выраженную

тенденцию наиболее существенного отклика на уменьшение функции, с

увеличением отношения $\frac{H}{H_{\max}}$ во всем диапазоне изменения параметров.

В области отношения $\frac{d}{d_{\max}}$ близком к 0,9 находится гребень седловины, когда функция отклика $\frac{Q}{Q_{\max}} \cdot 100\%$ наиболее чувствительна к

изменению отношения $\frac{H}{H_{\max}}$ во всем диапазоне изменения параметров.

Ниже области отношения $\frac{d}{d_{\max}}$ близком к 0,9 с увеличением отношения $\frac{H}{H_{\max}}$ значения функции отклика $\frac{Q}{Q_{\max}} \cdot 100\%$ уменьшаются, а выше

области отношения $\frac{d}{d_{\max}}$ близком к 0,9 с увеличением отношения $\frac{H}{H_{\max}}$ значения функции отклика $\frac{Q}{Q_{\max}} \cdot 100\%$ увеличиваются. Однако по мере удаления от седловины данный эффект имеет ярко выраженную тенденцию к затуханию.

Список литературы:

1. Дегтярев, В.Г. Теоретический анализ и экспериментальные исследования адаптивного датчика регулятора расхода воды / В.Г. Дегтярев, Г.В. Дегтярев // Труды Кубанского государственного аграрного университета.- Краснодар, 2012.- Вып.3(36).- С. 299-302.

2. Дегтярев, В.Г. Технологические аспекты систем автоматического регулирования (САР) уровня, для трубчатых водовыпусков рисовых чеков / В.Г. Дегтярев, Г.В. Дегтярев // Труды Кубанского государственного аграрного университета.- Краснодар, 2012.- Вып.3(36).- С. 315-318.

3. Дегтярев, В.Г. Ленточный регулятор расхода с адаптивными характеристиками для рисовых чеков / В.Г. Дегтярев, Г.В. Дегтярев // Труды Кубанского государственного аграрного университета.- Краснодар, 2012.- Вып.3(36).- С. 336-340.

4. Егоров, А.Е. Исследование устройств и систем автоматики методом планирования эксперимента./ А.Е. Егоров, Г.А. Азаров, А.В. Коваль. Под. ред. В.Г.

Воронова, - Харьков. - Изд. при Харьковском Государственном Университете. - Изд. объединение "Вища школа", 1986 - 240с.

References

1. Degtjarev, V.G. Tehnologicheskiy analiz i eksperemental'nye issledovaniya adaptivnogo datchika reguljatora rashoda vody / V.G. Degtjarev, G.V. Degtjarev // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.- Krasnodar, 2012.-Vyp.3(36).-S.299-302.
2. Degtjarev, V.G. Tehnologicheskie aspekty sistem avtomaticheskogo regulirovaniya (SAR) urovnja, dlja trubchatyh vypuskov risovyh chekov / V.G. Degtjarev, G.V. Degtjarev // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.- Krasnodar, 2012.-Vyp.3(36).-S.315-318.
3. Degtjarev, V.G. Lentochnyj reguljator rashoda s adaptivnymi harakteristikami dlja risovyh chekov / V.G. Degtjarev, G.V. Degtjarev // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.- Krasnodar, 2012.-Vyp.3(36).-S.336-340.
4. Egorov A.E. Issledovanie ustroystv i sistem avtomatiki metodom planirovaniya eksperimenta./ A.E. Egorov, G.A. Azarov, A.V. Koval'. Pod. red. V.G.Voronova, - Har'kov. – Izd. pri Har'kovskom Gosudarstvennom Universitete. – Izd. ob'edinenie «Visha shkola», 1986 – 240s.