

УДК 621.226:621.22.018.8

UDC 621.226:621.22.018.8

**ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ВОДОПОДАЧИ
АЭРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО
ВОДОПОДЪЕМНИКА УРАВНЕНИЕМ
РЕГРЕССИИ****THE DESCRIPTION OF PROCESS OF WATER
GIVING OF THE AEROHYDRAULIC WATER
LIFT WITH THE REGRESS EQUATION**

Кизюн Жорж Валерьевич
аспирант
*Кубанский государственный аграрный
университет, Краснодар, Россия*

Kizyun Zhorzh Valerevich
postgraduate student
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В статье рассмотрена экспериментальная установка, для проведения полнофакторного эксперимента по исследованию производительности аэрогидравлического водоподъемника. Получено уравнение регрессии описывающее процесс водоподдачи аэрогидравлического водоподъемника. Произведена проверка адекватности уравнения регрессии

In the article we have considered the experimental installation, for realization of full factorial experiment on research of productivity of the aerohydraulic water lift. The regress equation describing process of water giving of the aerohydraulic water lift has been received. We have also checked the adequacy of the equation of regress

Ключевые слова: АЭРОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ВОДОПОДЪЕМНИК, ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА, ПОЛНОФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ, ПЛАН ЭКСПЕРИМЕНТА, УРАВНЕНИЕ РЕГРЕССИИ, АДЕКВАТНОСТЬ

Keywords: AEROHYDRAULIC WATER LIFT, LABORATORY INSTALLATION, FULLFACTORIAL EXPERIMENT, EXPERIMENT PLAN, REGRESS EQUATION, ADEQUACY

В рамках экспериментального исследования разработанных конструкций аэрогидравлического водоподъемника (АГВП) (пат. № 2450104 РФ) и водоподъемного узла (пат. 2503775 РФ) для повторного использования дренажно-сбросных вод [1,2], была поставлена задача, для последующего применения конструкций и расчета их параметров применительно к конкретным условиям рисовой оросительной системы, описать процесс водоподдачи (производительность) уравнением регрессии.

На основе уже имеющихся исследований и расчетных зависимостей был произведен выбор управляемых факторов [3, 4]. Этими факторами являются: перепад между напором на АГВП и высотой водоподдачи; диаметр питательного трубопровода (площадь живого сечения); диаметр подающего трубопровода (площадь живого сечения). Все эти факторы являются контролируемыми, с возможностью задать различные величины уровней.

Так диапазон перепадов, целесообразно взять аналогично возможным на рисовой оросительной системе: 0,1 м; 0,2 м; 0,3 м; 0,4 м.

При регулировании как факторов диаметров питательного и подающего трубопроводов целесообразно принять стандартные размеры диаметров труб: 32 мм; 40 мм; 50 мм; 75 мм, с соответствующими внутренними диаметрами: 28,4 мм; 36,4 мм; 46,4 мм; 71,2 мм.

Так как исследуется три фактора необходимо проведение полнофакторного эксперимента. Для этого необходимо составление плана эксперимента, который включает все возможные сочетания уровней факторов, но при этом ни одно из этих сочетаний не повторяется [5].

Схема проведения эксперимента будет иметь вид 4^3 , т.е. в эксперименте будут исследоваться три фактора, каждый из которых будет варьироваться на четырех уровнях. При этом полином поверхности отклика будет содержать 10 слагаемых.

Для проведения исследований по плану эксперимента, была сконструирована лабораторная установка (рисунок 1).

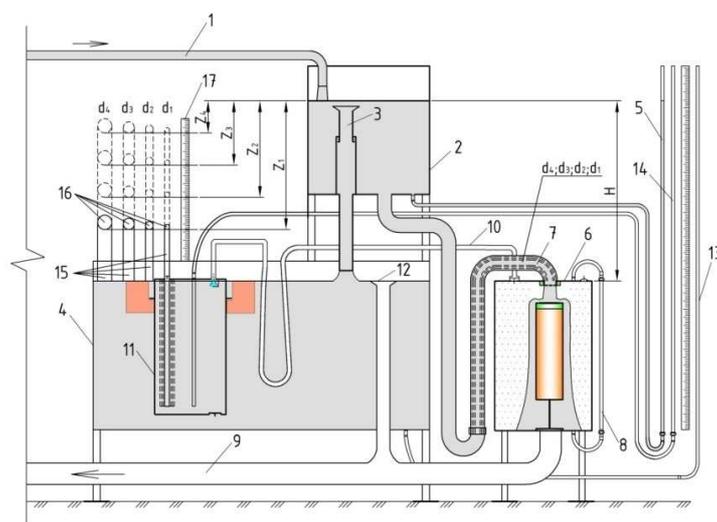


Рисунок 1 – Лабораторная установка по исследованию производительности АГВП при варьировании тремя факторами
Данная лабораторная установка позволяет изменять диаметры питательного трубопровода 7 и подающего трубопровода 15 (возможность

варьирования уровнями факторов), а также величину перепада z за счет изменения высоты водоподачи $H_{под\ i}$, при помощи перелива 16 для каждого диаметра подающего 15 и питательного 7 трубопроводов при постоянном напоре H на АГВП.

Методика эксперимента:

1. На нижнем напорном резервуаре 6 устанавливается питательный трубопровод 7 соответствующего диаметра (согласно установленному уровню фактора).

2. На верхнем напорном резервуаре 11 устанавливается подающий трубопровод 15 соответствующего диаметра (согласно установленному уровню фактора).

3. Устанавливается высота перелива 16 для создания некоторой величины перепада z (согласно принятой величине уровня данного фактора) при этом регулирующий водослив 3 статичен (устанавливается постоянный напор H на АГВП)

4. Производится пуск воды по водоводу 1 , при этом устанавливается требуемая величина перепада z между напором над нижним напорным резервуаром 6 и высотой установки перелива 16 . Излишки воды поступающие в напорный бак 2 , сбрасываются в лоток 4 , в котором поддерживается постоянный уровень воды. С постепенным наполнением нижнего напорного резервуара 6 происходит сжатие и вытеснение воздуха по воздуховоду 10 в верхний напорный резервуар 11 , который на начальном этапе наполнен водой. С постепенным увеличением давления, по мере наполнения нижнего напорного резервуара 6 , происходит поднятие воды по подающему трубопроводу 15 . При дальнейшем наполнении нижнего напорного резервуара 6 и подаче воздуха в верхний напорный резервуар 11 происходит вытеснение воды через перелив 16 .

5. Производится измерение расхода вытесняемой жидкости из подающего трубопровода 15 (получение величины отклика при заданных факторах).

Дальнейшее проведение эксперимента сводится к варьированию уровней факторов:

1. При фиксированном диаметре питательного трубопровода 7 на нижнем напорном резервуаре 6 и фиксированном диаметре подающего трубопровода 15 на верхнем напорном резервуаре 11, изменением высоты перелива 16 изменяется величина перепада z (согласно принятому диапазону изменения уровня фактора: $z_1 = 0,4$ м; $z_2 = 0,3$ м; $z_3 = 0,2$ м; $z_4 = 0,1$ м) во всех точках которого измеряется величина расхода.

2. Производится варьирование диаметром питательного трубопровода 7 на нижнем напорном резервуаре 6. При этом диаметр подающего трубопровода 15 остается фиксированным. Для каждого значения диаметра питательного трубопровода 7 (согласно принятым уровням фактора $d_1 = 32$ мм; $d_2 = 40$ мм; $d_3 = 50$ мм; $d_4 = 75$ мм), задается величина перепада z , во всех точках которого измеряется величина расхода.

3. Производится изменение диаметра подающего трубопровода 15 (согласно принятым уровням фактора $d_1 = 32$ мм; $d_2 = 40$ мм; $d_3 = 50$ мм; $d_4 = 75$ мм). Для каждого значения диаметра подающего трубопровода 15 производится варьирование всеми уровнями питательного трубопровода 7, где в свою очередь для каждого значения устанавливается четыре значения перепада z . При этом в каждой вариации факторов производится измерение величины расхода.

Матрица проведенного эксперимента представлена в таблице 1. Факторы обозначены следующим образом:

x_1 – внутренний диаметр питательного трубопровода, см;

x_2 – внутренний диаметр подающего трубопровода, см;

x_3 – перепад z (разность между напором на АГВП и высотой водоподачи), м.

Таблица 1 - Матрица проведенного эксперимента

Номер опыта	Значения факторов			Отклик
	X_1	X_2	X_3	
1	2,84	2,84	0,4	0,3968
2	2,84	2,84	0,3	0,3448
3	2,84	2,84	0,2	0,2703
4	2,84	2,84	0,1	0,1845
5	2,84	3,64	0,4	0,556
6	2,84	3,64	0,3	0,446
7	2,84	3,64	0,2	0,368
8	2,84	3,64	0,1	0,236
9	2,84	4,64	0,4	0,641
10	2,84	4,64	0,3	0,543
11	2,84	4,64	0,2	0,431
12	2,84	4,64	0,1	0,294
13	2,84	7,14	0,4	0,658
14	2,84	7,14	0,3	0,556
15	2,84	7,14	0,2	0,439
16	2,84	7,14	0,1	0,299
17	3,64	2,84	0,4	0,446
18	3,64	2,84	0,3	0,382
19	3,64	2,84	0,2	0,307
20	3,64	2,84	0,1	0,207
21	3,64	3,64	0,4	0,676
22	3,64	3,64	0,3	0,595
23	3,64	3,64	0,2	0,472
24	3,64	3,64	0,1	0,323
25	3,64	4,64	0,4	0,926
26	3,64	4,64	0,3	0,735
27	3,64	4,64	0,2	0,588
28	3,64	4,64	0,1	0,410
29	3,64	7,14	0,4	1,020
30	3,64	7,14	0,3	0,877
31	3,64	7,14	0,2	0,694
32	3,64	7,14	0,1	0,467
33	4,64	2,84	0,4	0,459
34	4,64	2,84	0,3	0,394
35	4,64	2,84	0,2	0,316
36	4,64	2,84	0,1	0,216
37	4,64	3,64	0,4	0,769
38	4,64	3,64	0,3	0,667
39	4,64	3,64	0,2	0,526
40	4,64	3,64	0,1	0,336

Продолжение таблицы 1

41	4,64	4,64	0,4	1,163
42	4,64	4,64	0,3	0,926
43	4,64	4,64	0,2	0,746
44	4,64	4,64	0,1	0,521
45	4,64	7,14	0,4	1,613
46	4,64	7,14	0,3	1,389
47	4,64	7,14	0,2	1,111
48	4,64	7,14	0,1	0,746
49	7,14	2,84	0,4	0,472
50	7,14	2,84	0,3	0,403
51	7,14	2,84	0,2	0,327
52	7,14	2,84	0,1	0,227
53	7,14	3,64	0,4	0,820
54	7,14	3,64	0,3	0,704
55	7,14	3,64	0,2	0,575
56	7,14	3,64	0,1	0,397
57	7,14	4,64	0,4	1,351
58	7,14	4,64	0,3	1,087
59	7,14	4,64	0,2	0,862
60	7,14	4,64	0,1	0,602
61	7,14	7,14	0,4	2,632
62	7,14	7,14	0,3	2,273
63	7,14	7,14	0,2	1,786
64	7,14	7,14	0,1	1,250

Как уже отмечалось, уравнение будет содержать 10 слагаемых, т.е. нормальная система будет содержать 10 уравнений.

С использованием формул (1), (2) и (3) [5] на основе данных таблицы 1 была составлена матрица коэффициентов нормальной системы уравнений (таблица 2).

Вид полинома при трех факторах:

$$y = a_1x_1^2 + a_2x_2^2 + a_3x_3^2 + a_4x_1x_2 + a_5x_1x_3 + a_6x_2x_3 + a_7x_1 + a_8x_2 + a_9x_3 + a_{10}. \quad (1)$$

Вспомогательный вектор V_3 для определения элементов матрицы при трех факторах имеет вид:

$$V_3 = \{x_{1s}^2, x_{2s}^2, x_{3s}^2, x_{1s} \cdot x_{2s}, x_{1s} \cdot x_{3s}, x_{2s} \cdot x_{3s}, x_{1s}, x_{2s}, x_{3s}, 1\}, \quad (2)$$

где x_{is} - значение i -го фактора в s -том эксперименте.

Любой элемент этой матрицы вычисляется по формуле:

$$a_{ij} = \sum_{s=1}^n V_i \cdot V_j, i = 1 \dots n; j = 1, 2 \dots n \quad (3)$$

где a_{ij} – элемент матрицы коэффициентов;

V – элемент вспомогательного вектора;

n – количество опытов (число строк в матрице эксперимента);

i, j – соответственно номер строки и номер столбца в матрицы;

s – параметр суммирования (номер опыта).

Таблица 2 – Матрица коэффициентов нормальной системы уравнений

52848,79	35212,07	112,59	39078,34	2140,11	1713,23	8560,42	6852,93	375,30	1501,19
35212,07	52848,79	112,59	39078,34	1713,23	2140,11	6852,93	8560,42	375,30	1501,19
112,59	112,59	0,57	100,03	7,30	7,30	39078,34	21,91	1,60	4,80
39078,34	39078,34	100,03	35212,07	1713,23	1713,23	6852,93	6852,93	333,43	1333,71
2140,11	1713,23	7,30	1713,23	112,59	100,03	375,30	333,43	21,91	73,04
1713,23	2140,11	7,30	1713,23	100,03	112,59	333,43	375,30	21,91	73,04
8560,42	6852,93	39078,34	6852,93	375,30	333,43	1501,19	1333,71	73,04	292,16
6852,93	8560,42	21,91	6852,93	333,43	375,30	1333,71	1501,19	73,04	292,16
375,30	375,30	1,60	333,43	21,91	21,91	73,04	73,04	4,80	16
1501,19	1501,19	4,80	1333,71	73,04	73,04	292,16	292,16	16	64

Сформировав коэффициенты левой части уравнения системы, формируем правую часть коэффициентов уравнения. Формирование производится при помощи вспомогательного вектора V_3 . Любой элемент вектора правых частей может быть найден по формуле [4]:

$$b_i = \sum_{s=1}^n V_i \cdot y_s, i = 1 \dots n \quad (4)$$

где b – столбцы правых частей уравнений нормальной системы;

V – элемент вспомогательного вектора;

y – опытное значение функции отклика;

s – номер опыта.

Полученные коэффициенты правых частей уравнения представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Коэффициенты правых частей нормальной системы уравнений

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1234,596	1317,892	3,904	1174,830	61,567	63,864	219,920	228,049	12,171	43,453

Получив систему уравнений в виде матрицы десять на десять (см. таблица 2) и столбец правых частей уравнения (см. таблица 3), производится решение системы уравнений для определения параметров функции отклика. Для решения данной системы использовался метод Крамера при помощи среды EXCEL [5]. Выполнялась следующая последовательность [5]:

а) определялся определитель системы (он же определитель матрицы);

б) определялся определитель неизвестной, т.е. определитель матрицы, полученный путем замены в матрице коэффициентов столбца коэффициентов этой неизвестной столбцом правых частей уравнений системы;

в) значение самих неизвестных определялись по формуле [4]:

$$x_i = \frac{D_i}{D} \quad (5)$$

где x_i – неизвестная;

D_i – ее определитель;

D – определитель системы.

Полученные значения неизвестных являются коэффициентами уравнения поверхности отклика.

Для нашей системы уравнений был найден определитель $D = - 1,18275 \cdot 10^{23}$.

Рассчитанные определители для каждой неизвестной и соответствующие им значения неизвестных представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Определители неизвестных и их значения

D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	D ₆	D ₇	D ₈	D ₉	D ₁₀
3,4280* * 10 ²¹	2,07* * 10 ²¹	6,5271* * 10 ¹⁷	-9,279* * 10 ²¹	-3,185* * 10 ²²	-4,983* * 10 ²²	2,5061* * 10 ¹⁶	1,2695* * 10 ²²	1,7956* * 10 ²³	-2,563* * 10 ²²
x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀
-0,02898	-0,017	-5,5* 10 ⁻⁶	0,07846	0,26931	0,42132	-2,18* 10 ⁻⁷	-0,1073	-1,5182	0,2167

Таким образом, производительность АГВП в зависимости от диаметров питательного и подающего трубопровода и величины перепада z выражается следующим уравнением:

$$y = - 0,02898x_1^2 - 0,01755x_2^2 - 5,51864 \cdot 10^{-6}x_3^2 + 0,07846x_1x_2 + 0,26931x_1x_3 + 0,42132x_2x_3 - 2,11888 \cdot 10^{-7}x_1 - 0,107336x_2 - 1,51823x_3 + 0,2167,$$

где x₁ – внутренний диаметр питательного трубопровода, см.;

x₂ – внутренний диаметр подающего трубопровода, см;

x₃ – перепад z, разность между напором на АГВП и высотой водоподачи, м.

Так же была поставлена задача проверить адекватность полученного уравнения регрессии. Обработка результатов эксперимента выполнялась в следующей последовательности.

Рассчитывалась дисперсия опыта, характеризующая ошибку опыта. Построчные дисперсии для каждой строки таблицы планирования определяли по формуле:

$$s_v^2 = \frac{\sum_{j=0}^{r-1} (y_{vj} - \bar{y}_v)^2}{r-1}, \quad (6)$$

где y_{vj} – значение отклика для каждого опыта j в точке с номером v ;

\bar{y}_v – средний отклик по r опытам в точке с номером v ;

r – число повторных опытов в точках плана.

Средний отклик по r опытам определяется по формуле:

$$\bar{y}_v = \frac{\sum_{j=0}^{r-1} y_{vj}}{r}. \quad (7)$$

На основе полученных значений построчной дисперсии опыта, была определена дисперсия параметра оптимизации $s^2\{y\}$, которая представляет собой усредненную дисперсию всех n различных вариантов опытов по формуле [6, 7]:

$$s^2\{y\} = \frac{\sum_{v=0}^{n-1} s_v^2}{n}; \quad (8)$$

$$s^2\{y\} = \frac{0,3823}{64} = 0,00597.$$

Затем проверялась однородность ряда построчных дисперсий. Проверка может производиться с помощью различных статистических критериев: Фишера, Кохрена, Бартлента. В нашем случае, когда число повторных опытов во всех точках плана одинаково, пригоден критерий Кохрена. Поэтому была рассчитана величина критерия Кохрена, т.е. отношение максимальной дисперсии к сумме всех дисперсий [6, 7]:

$$G = \frac{\max s_v^2}{\sum s_v^2}; \quad (9)$$

$$G = \frac{0,1257}{0,3823} = 0,328.$$

По соответствующей таблице [5] находим для $r = 4$, $v = 64$ и уровня значимости 5% критическое значение $G = 0,357$. Полученное экспериментальное значение критерия Кохрена не превышает критического ($0,328 < 0,357$). Это позволяет считать ряд дисперсий однородным. Поэтому была определена дисперсия параметра оптимизации $s^2\{y\}$, которая есть усредненная дисперсия всех n различных вариантов опытов [6, 7]:

$$s^2\{y\} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i^2}{n}; \tag{10}$$

$$s^2\{y\} = \frac{0,3823}{64} = 0,00597.$$

Затем была выполнена проверка статистической значимости коэффициентов уравнения регрессии. Для проверки значимости каждого коэффициента использовалась проверка по t-критерию Стьюдента.

Дисперсия коэффициентов регрессии $s^2\{b_i\}$ при равномерном дублировании опытов по точкам с числом повторных опытов r определялась по формуле:

$$s^2\{b_i\} = \frac{s^2\{y\}}{n \cdot r}; \tag{11}$$

$$s^2\{b_i\} = \frac{0,00597}{64 \cdot 4} = 0,0000233.$$

Следовательно, среднеквадратическая ошибка:

$$s\{b_i\} = \sqrt{0,0000233} = 0,00483.$$

Далее, при приятном уровне значимости 5% и при числе степеней свободы $f = n(r-1)$, определили табличное значение, t-критерия ($t = 1,9708$). После этого подсчитали доверительный интервал коэффициентов регрессии по формуле:

$$\Delta b_i = t \cdot s\{b_i\}; \quad (12)$$

$$\Delta b_t = 1,9708 \cdot 0,00483 = 0,009518.$$

Следовательно, в нашем случае незначимыми являются коэффициенты b_3 и b_7 . После этого математическая модель будет иметь только значимые коэффициенты.

$$y = -0,02898x_1^2 - 5,51864 \cdot 10^{-6}x_3^2 + 0,07846x_1x_2 + 0,26931x_1x_3 + 0,42132x_2x_3 - 0,107336x_2 - 1,51823x_3 + 0,2167. \quad (13)$$

Как мы видим, уравнение регрессии практически полностью описывает результаты эксперимента. Чем больше по абсолютному значению величина коэффициента регрессии b_i , тем сильнее его влияние на критерий оптимизации в заданном интервале варьирования факторов.

Затем проверили адекватность полученной модели. Для проверки гипотезы об адекватности достаточно оценить отклонение, предсказанное уравнением регрессии выходной величины y от результатов эксперимента в различных точках факторного пространства.

Рассеяние результатов эксперимента относительно уравнения связи оценивается с помощью остаточной дисперсии или дисперсии адекватности, которая определялась (при равном числе дублирующих опытов) [6, 7]:

$$= \frac{r}{n-m} \cdot \sum_{v=0}^{n-1} (\bar{y}_v - \hat{y}_v)^2, \quad (14)$$

где m – число членов аппроксимирующего полинома (включая свободный член).

Проверка адекватности состояла в выяснении соотношения между дисперсией адекватности и дисперсией воспроизводимости $s^2\{y\}$.

Критерий Фишера позволяет проверить нуль – гипотезу о равенстве двух генеральных дисперсий и $s^2\{y\}$ в этом случае F -критерий формируется как отношение [6,7]:

$$F = \frac{s_{ад}^2}{s^2\{y\}}. \quad (15)$$

Если вычисленное значение критерия F меньше критического $F_{кр}$, определяемого по таблице [8] для соответствующих степеней свободы $f_{ад} = n - m$ и $f_E = n \cdot (r - 1)$ при заданном уровне значимости 5%, то нуль-гипотеза принимается.

$$s_{ад}^2 = \frac{3}{64 - 8} \cdot 0,102 = 0,00546.$$

В нашем случае дисперсия неадекватности $s_{ад}^2$ не превосходит оценки дисперсии воспроизводимости $s^2\{y\}$ ($0,00546 < 0,00597$), вычисленное отношение F меньше единицы ($0,00546 / 0,00597 = 0,92$) и неравенство $F < F_{кр}$ выполняется для любого числа степеней свободы $f_{ад}$ и f_E . Следовательно, полученная модель адекватно описывает производительность АГВП.

Выводы:

1. По результатам многофакторного эксперимента получена регрессионная модель производительности АГВП $y = - 0,02898x_1^2 - 5,51864 \cdot 10^{-6}x_3^2 + 0,07846x_1x_2 + 0,26931x_1x_3 + 0,42132x_2x_3 - 0,107336x_2 - 1,51823x_3 + 0,2167$.

2. Проведена статистическая проверка полученной регрессионной модели производительности АГВП по критерию Фишера, расчет показал $F_p = 0,92 < F_{0,05;56;128} = 1,21$, что подтверждает адекватность модели описываемому процессу.

Список литературы

1. Пат. 2450104, Российская Федерация МПК E02B 13/02. Аэрогидравлический водоподъемник [Текст] / Н.В. Островский, В.Т. Островский, Ж.В. Кизюн (РФ); заявитель и патентообладатель КубГАУ.– 2010133833/13; заявл. 12.08.2010; опубл. 10.05.12; Бюл. № 13. – 10 с.

2. Пат. 2503775, Российская Федерация МПК E02B 13/02. Водоподъемный узел [Текст] / Н.В. Островский, Ж.В. Кизюн В.Т. Островский, (РФ); заявитель и патентообладатель КубГАУ.– 2012115014/13; заявл. 16.04.2012; опубл. 10.01.14; Бюл. № 1. – 9 с.

3. Опыт внедрения автономных водоподъемников на модуле рисовой системы «Кубанская» как основа разработки новых водоподъ-емных средств / Н.В. Островский, В.Т. Островский, Ж.В. Кизюн // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар: КубГАУ, 2011. - №1 (28). - С. 160-163.

4. Исследование совместной работы водной и воздушной среды в конструкции аэрогидравлического водоподъемника / Кизюн Ж.В., Островский Н.В. // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №05(89). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/05/pdf/09.pdf>.

5. Юдин М.И. Планирование эксперимента и обработка его результатов: Монография. – Краснодар: КубГАУ, 2004. – 239 с.

6. Кацев П.Г. Статистические методы исследования режущего инструмента. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1974. – 231 с.

7. Антоненц И.В., Еремин Н.В. Математическая обработка результатов эксперимента: методические указания. – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 21 с.

8. Тихонов А.Н., Уфимцев М.В. Статистическая обработка результатов экспериментов: Учеб. пособие. – М.: Моск. унта, 1988. – 174 с.

References

1. Pat. 2450104, Rossijskaja Federacija MPK E02B 13/02. Ajerogidravlicheskij vodopod#emnik [Tekst] / N.V. Ostrovskij, V.T. Ostrovskij, Zh.V. Kizjun (RF); zajavitel' i patentoobladatel' KubGAU.– 2010133833/13; zajavl. 12.08.2010; opubl. 10.05.12; Bjul. № 13. – 10 s.

2. Pat. 2503775, Rossijskaja Federacija MPK E02B 13/02. Vodopod#emnyj uzal [Tekst] / N.V. Ostrovskij, Zh.V. Kizjun V.T. Ostrovskij, (RF); zajavitel' i patentoobladatel' KubGAU.– 2012115014/13; zajavl. 16.04.2012; opubl. 10.01.14; Bjul. № 1. – 9 s.

3. Opyt vnedrenija avtonomnyh vodopod#emnikov na module risovoj sistemy «Kubanskaja» kak osnova razrabotki novyh vodopod#-emnyh sredstv / N.V. Ostrovskij, V.T. Ostrovskij, Zh.V. Kizjun // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – Krasnodar: KubGAU, 2011. - №1 (28). - S. 160-163.

4. Issledovanie sovmestnoj raboty vodnoj i vozdushnoj sredy v konstrukcii ajerogidravlicheskogo vodopod#emnika / Kizjun Zh.V., Ostrovskij N.V. // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal KubGAU [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2013. – №05(89). – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2013/05/pdf/09.pdf>.

5. Judin M.I. Planirovanie jeksperimenta i obrabotka ego rezul'tatov: Monografija. – Krasnodar: KubGAU, 2004. – 239 s.

6. Kacev P.G. Statisticheskie metody issledovanija rezhushhego in-strumenta. Izd. 2-e, pererab. i dop. M.: Mashinostroenie, 1974. – 231 s.

7. Antonec I.V., Eremin N.V. Matematicheskaja obrabotka rezul'tatov jeksperimenta: metodicheskie ukazannaja. – Ul'janovsk: UIGTU, 2004. – 21 s.

8. Tihonov A.N., Ufimcev M.V. Statisticheskaja obrabotka rezul'tatov jeksperimentov: Ucheb. posobie. – M.: Mosk. unta, 1988. – 174 s.