

УДК 621.226:621.22.018.8

UDC 621.226:621.22.018.8

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
АЭРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО  
ВОДОПОДЪЕМНИКА****EXPERIMENTAL RESEARCHES OF THE  
AEROHYDRAULIC WATER LIFT**Кизюн Жорж Валерьевич  
аспирантKizyun Zhorzh Valerevich  
postgraduate studentОстровский Николай Вячеславович  
к.т.н., доцент  
*Кубанский государственный аграрный  
университет, Краснодар, Россия*Ostrovsky Nikolai Vyacheslavovich  
Cand.Tech.Sci., associate professor  
*Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia*

В статье представлены экспериментальные исследования аэрогидравлического водоподъемника. Исследовалось влияние напора на аэрогидравлический водоподъемник и высоты водоподдачи на производительность. Многофакторное исследование производительности АГВП. Установлено, что производительность аэрогидравлического водоподъемника зависит от разницы между напором и высотой водоподдачи. Установлены влияния диаметров подающего и питательного трубопроводов на производительность

In the article, we have presented the experimental researches of the aérohydraulic water lift. The influence of the pressure on the aérohydraulic water lift and water giving height on productivity has been researched as well as we have made a multifactorial research of productivity of aérohydraulic water lift. It has been established that productivity of the aérohydraulic water lift depends on the difference between pressure and water giving height. Influences of diameters of submitting and nutritious pipelines on productivity have been established

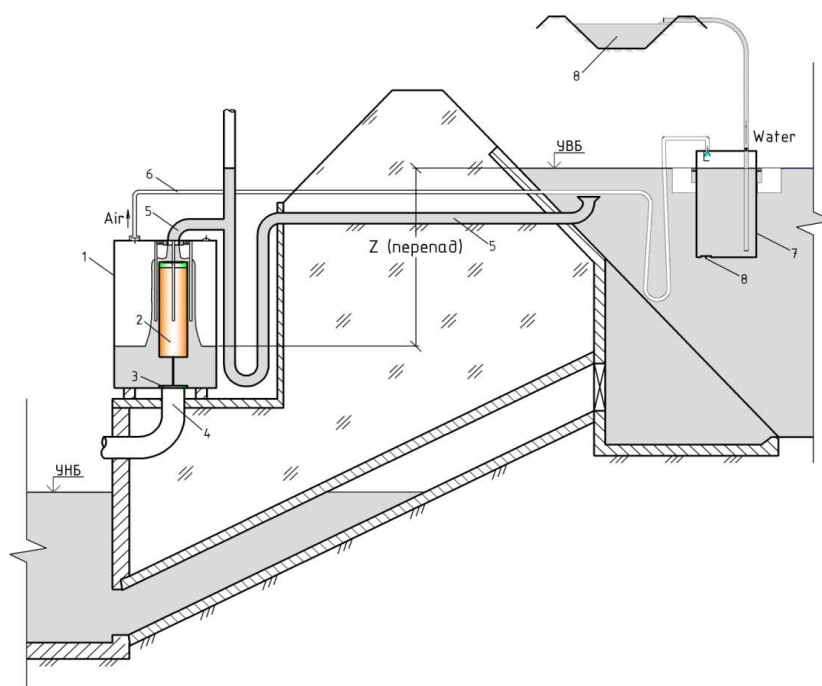
Ключевые слова: АЭРОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ВОДОПОДЪЕМНИК, НАПОР, ВЫСОТА ВОДОПОДАЧИ, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, МНОГОФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Keywords: AEROHYDRAULIC WATER LIFT, PRESSURE, WATER GIVING HEIGHT, PRODUCTIVITY, MULTIFACTORIAL EXPERIMENT, FACTORS

Для повышения водообеспеченности на внутривозвратном звене рисовых оросительных нами был разработан способ выращивания риса (пат. 2457672 РФ) и конструкции аэрогидравлического водоподъемника (АГВП) (пат. № 2450104 РФ) и водоподъемного узла (пат. 2503775 РФ) для реализации данного способа [1, 2, 3].

Работа аэрогидравлического водоподъемника (рисунок 1) осуществляется за счет энергии гидравлического перепада  $Z$ , которая преобразуется в цикл наполнения нижней напорной камеры  $1$ , при помощи поплавкового механизма  $2$ , который клапаном  $3$ , закрывает сбросной патрубок  $4$ , тем самым обеспечивается наполнение. Цикл сброса, осуществляется поднятием поплавкового механизма  $2$ , закрытием питательного патрубка  $5$  и открытием сбросного патрубка  $4$ . Циклы набора и сброса воды под напором, обеспечивают гидравлическое сжатие воздуха

в нижней напорной камере 1. При наполнении нижней напорной камеры 1, воздух из нее выдавливается по воздуховоду 6 в верхнюю напорную камеру 7, которая наполнена водой через обратный клапан 8 (под силой собственного веса) и вытесняет воду, применительно к рисовой оросительной системе в распределительный канал 9.



1 – нижняя напорная камера; 2 – поплавковый механизм; 3 – клапан; 4 – сбросной патрубок; 5 – питательный патрубок; 6 – воздуховод; 7 – верхняя напорная камера; 8 – распределительный канал

Рисунок 1 – Аэрогидравлический водоподъемник (схема)

Вопросом исследования являются производительность АГВП и факторы которые оказывают влияние на процесс водоподдачи.

Многофакторные исследования, если они возможны технически и организационно, всегда дают более полную картину синтеза различных закономерностей. Привлечение множества управляемых факторов к составлению математического описания может потребовать непомерного объема экспериментальной и вычислительной работы, что зачастую невыполнимо в силу технологических, экономических и прочих

ограничений. Поэтому не редко возникает необходимость предварительного отсеивания среди управляемых факторов несущественных и выделение существенных, которые оказывают наиболее заметное влияние на отклик [4].

Применительно к работе АГВП основными значимыми факторами являются: величина действующего напора на АГВП, высота водоподачи, диаметр питательного трубопровода и диаметр подающего трубопровода (площади живого сечения) [5, 6].

Такие факторы как напор на АГВП и требуемая высота водоподачи, могут быть объединены в один фактор, так как работа АГВП зависит от разности этих величин (от перепада  $z$  между напором на АГВП и высотой водоподачи), но это требует подтверждения при проведении лабораторных исследований.

В связи, с чем были поставлены следующие задачи экспериментальных исследований:

- исследование влияния действующего напора на АГВП и высоты водоподачи на производительность АГВП;

- многофакторные исследования производительности АГВП.

Первый этап лабораторных исследований это уточнение условий работы АГВП при разных значениях действующего напора и высоты водоподачи. Варьирование фактором напора на АГВП, целесообразно осуществлять аналогично возможному на рисовой оросительной системе, т.е. от 1 до 2,5 м. Величину высоты водоподачи, следует задавать в зависимости от действующего напора на установке, с постепенным уменьшением шага в 0,1 м от максимально действующего напора.

Так в диапазоне напоров на наш взгляд, для нормального описания достаточно взять четыре значения  $H_i = 1$  м; 1,5 м; 2 м; 2,5 м, а для величины высоты водоподачи, для охвата возможных условий, достаточно четыре точки:  $H_i - 0,1$  м;  $H_i - 0,2$  м;  $H_i - 0,3$  м;  $H_i - 0,4$  м.

С учетом выше перечисленных требований была сконструирована лабораторная установка (рисунок 2).

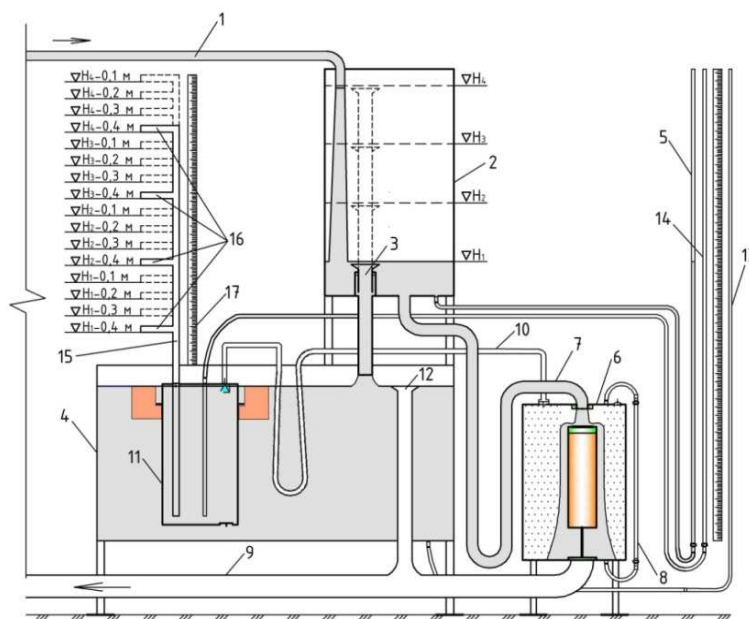


Рисунок 2 – Лабораторная установка по установлению влияния напора на АГВП и высоты водоподачи

По водоводу 1 вода поступает в напорный бак 2, снабженный регулирующим водосливом 3. Регулирующий водослив 3 позволяет регулировать уровень воды напорного бака 2 и создать четыре горизонта воды:  $\nabla H_1$ ,  $\nabla H_2$ ,  $\nabla H_3$ ,  $\nabla H_4$  с соответствующими напорами на АГВП: 1 м; 1,5 м; 2 м; 2,5 м. Излишки поступающей в напорный бак воды сбрасываются в лоток 4. Создаваемый в напорном баке 2 уровень воды отслеживается по пьезометру 5. Напорный бак 2 соединен с нижним напорным резервуаром 6 питательным трубопроводом 7, по которому поступает вода. При этом нижний напорный резервуар 6 для отслеживания в нем уровня воды снабжен мерным стеклом 8. Верхний уровень нижнего напорного резервуара 6 является уровнем отсчета напора  $H_i$ , который отслеживается по пьезометру 5 и является одним из факторов проводимого эксперимента, а регулирующий водослив 3 позволяет задавать уровни данного фактора. При работе нижнего напорного резервуара 6, происходит

смена циклов: поступление воды по питательному трубопроводу 7 и сброс воды из резервуара при его наполнении до определенного уровня по отводящему трубопроводу 9. Во время циклов наполнения и сброса в нижнем напорном резервуаре 6 происходит сжатие воздуха. За счет этого сжатый воздух под напором  $H_i$  (за исключением потерь напора в воздушной линии) поступает по воздухопроводу 10 в верхний напорный резервуар 11, который размещен в лотке 4. Лоток 4 снабжен водосливом 12, через который вода сбрасывается в отводящий трубопровод 9 для поддержания в лотке фиксированного уровня воды, который отслеживается по пьезометру 13. По пьезометру 14 отслеживается напор (давление) в верхнем напорном резервуаре 11. Верхний напорный резервуар соединен с подающим трубопроводом 15, который снабжен переливом 16. Высота расположения перелива 16  $\nabla H_{\text{под}i}$  относительно уровня воды в лотке 4 является фактором данного эксперимента. При этом созданы условия для изменения высоты расположения перелива 16 для каждой величины напора  $H_i$  (варьирование этим фактором) с использованием мерной шкалы 17 в следующих точках:  $H_i - 0,1$  м;  $H_i - 0,2$  м;  $H_i - 0,3$  м;  $H_i - 0,4$  м.

Методика эксперимента:

а) На нижнем напорном резервуаре 6 и на верхнем напорном резервуаре 11 установлены фиксированные диаметры труб (для оценки влияния только напора и высоты водоподачи). Диаметр питательного трубопровода – 40 мм, диаметр подающего трубопровода – 40 мм.

б) Регулирующий водослив 3 в напорном баке 2 устанавливается на определенной отметке для создания требуемого напора  $H_i$  (согласно принятой величине уровня данного фактора);

в) По мерной шкале 17 устанавливается требуемая высота перелива 16  $H_{\text{под}i}$  (согласно принятой величине уровня данного фактора).

г) Производится пуск воды по водоводу *1*, при этом устанавливается требуемый напор в напорном баке *2* над нижним напорным резервуаром *б*, который контролируется по пьезометру *5*. Излишки воды поступающие в напорный бак *2* для поддержания в нем постоянного уровня воды сбрасываются в лоток *4*, наполненный водой. С постепенным наполнением нижнего напорного резервуара *б* происходит сжатие и вытеснение воздуха по воздуховоду *10* в верхний напорный резервуар *11*, который на начальном этапе наполнен водой. По мере наполнения нижнего напорного резервуара *б* с постепенным увеличением давления происходит поднятие воды по подающему трубопроводу *15*. При дальнейшем наполнении нижнего напорного резервуара *б* и подаче воздуха в верхний напорный резервуар *11* вода вытесняется через перелив *16*.

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

Дальнейшее проведение эксперимента сводится к варьированию уровней факторов:

а) При фиксированном напоре  $H_i$  изменяется величина высоты перелива *16* (согласно принятому диапазону изменения уровня фактора:  $H_{\text{под } i} = H_i - 0,1$  м;  $H_{\text{под } i} = H_i - 0,2$  м;  $H_{\text{под } i} = H_i - 0,3$  м;  $H_{\text{под } i} = H_i - 0,4$  м). При каждом значении высоты перелива *16* (во всех выбранных точках) производится измерение величины расхода.

б) Производится изменение напора  $H_i$  над нижнем напорным резервуаром *б*, во всех принятых точках (во всем принятом диапазоне  $H_1 = 1$  м;  $H_2 = 1,5$  м;  $H_3 = 2$  м;  $H_4 = 2,5$  м) путем изменения высоты регулирующего водослива *3* в напорном баке *2*. При этом для каждой величины напора производится изменение высоты перелива *16* во всем принятом диапазоне и измеряется величина расхода.

Результаты проведенного двухфакторного эксперимента при всех вариациях величины напора  $H_i$  на АГВП и высоты водоподачи  $H_{под i}$  представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Средняя величина расхода АГВП в л/с, при варьировании величиной напора и высотой водоподачи

Напор $H_i$ , м	Перепад $z$ , м			
	0,4	0,3	0,2	0,1
1,0	0,694	0,610	0,476	0,333
1,5	0,714	0,625	0,485	0,338
2,0	0,704	0,625	0,481	0,282
2,5	0,714	0,617	0,485	0,338

Примечание: перепад  $z$  – разница между напором на АГВП  $H_i$  и высотой водоподачи  $H_{под i}$ .

На основе полученных данных таблицы 1 были построены графики (рисунок 3)

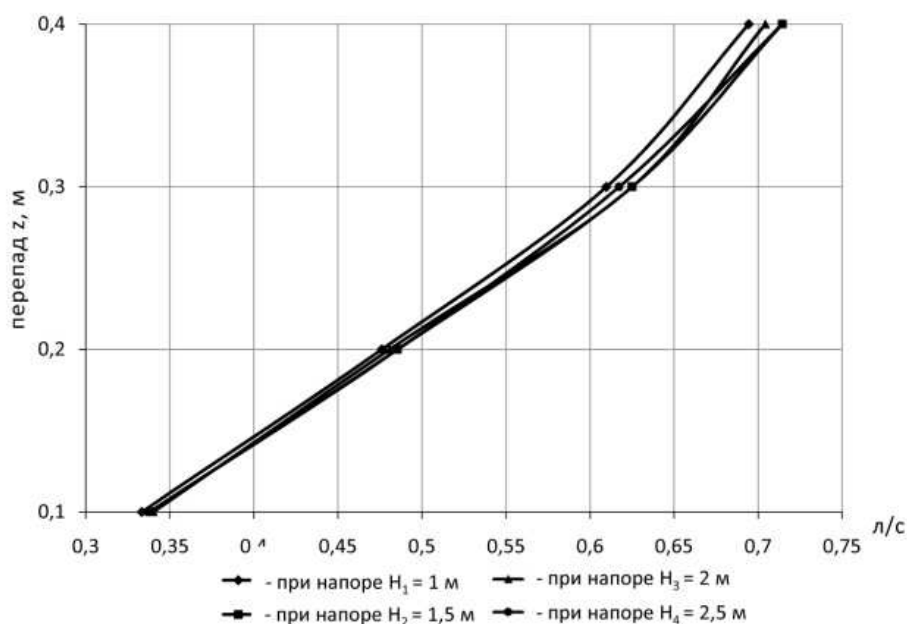


Рисунок 3 – Зависимость изменения производительности АГВП при варьировании величиной напора на АГВП и высотой водоподачи

На основе анализа рисунка 3 установлено, что при любой величине напора на АГВП, величина расхода зависит от разницы  $z$  между напором и

высотой водоподачи. Также это позволяет использовать вместо факторов напора и высоты водоподачи, один фактор перепад  $z$ .

Вторым этапом лабораторных исследований являлся многофакторный эксперимент по исследованию производительности АГВП с варьированием следующих факторов: величины перепада  $z$ , диаметра питательного трубопровода и диаметра подающего трубопровода (площади живого сечения).

Конструкция лабораторной установки (см. рисунок 2) была изменена (рисунок 4). Создана возможность изменения диаметров питательного трубопровода 7 и подающего трубопровода 15 (возможность варьирования уровнями факторов), при этом также сохранилась возможность изменения величины 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  $H_i$  на АГВП.

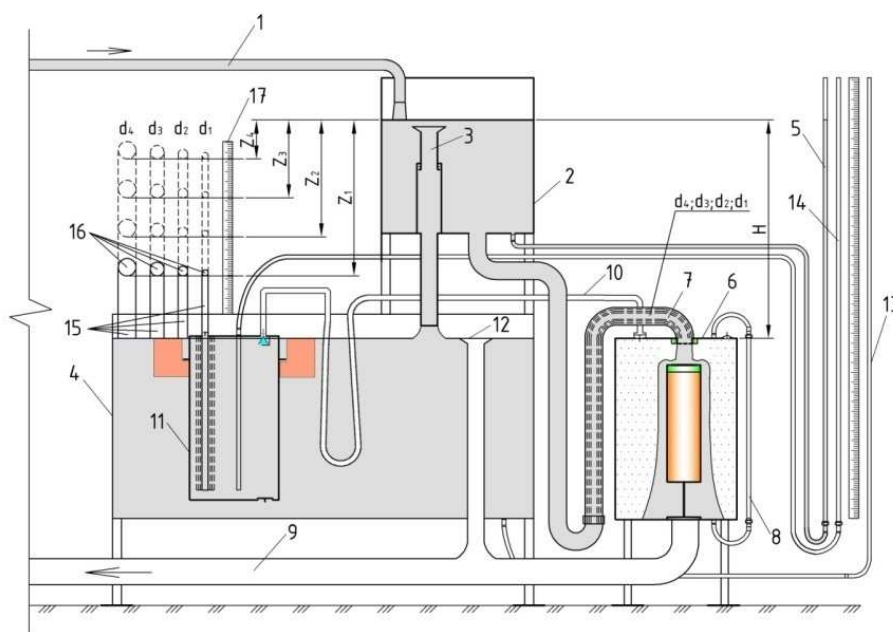


Рисунок 4 – Лабораторная установка по исследованию производительности АГВП при варьировании тремя факторами



Для варьирования величиной перепада  $z$  приняты четыре уровня: 0,1 м; 0,2 м; 0,3 м; 0,4 м. При варьировании факторами диаметров питательного и подающего трубопровода были приняты четыре уровня, в виде стандартных 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 многофакторного эксперимента. Для этого необходимо составление плана эксперимента, который включает все возможные сочетания уровней факторов, но при этом, ни одно из этих сочетаний не повторяется [7].

Методика эксперимента:

1. На нижнем напорном резервуаре *б* 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 *б* и высотой установки перелива *16*. Излишки воды поступающие в напорный бак *2*, сбрасываются в лоток *4*, наполненный водой, для поддержания в нем постоянного уровня воды. С постепенным наполнением нижнего напорного резервуара *б* 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) и производится измерение величины расхода подачи (производительности).

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 подачи (производительность).

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

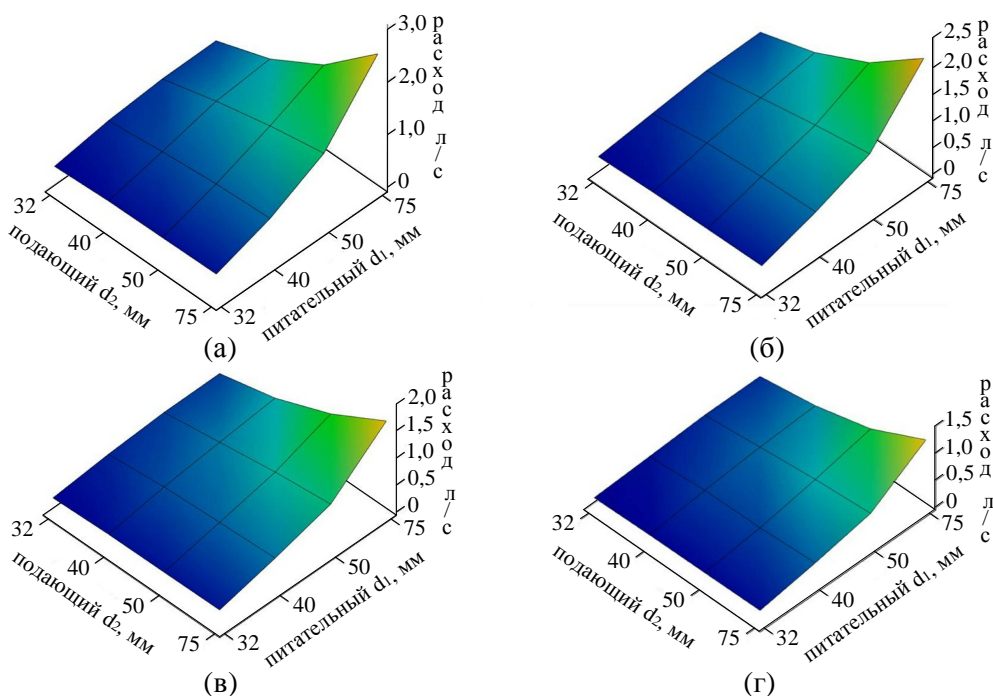
перепада  $z$ . При этом в каждой вариации факторов производится измерение величины расхода подачи (производительности).

Согласно принятому плану эксперимента, был произведен полнофакторный эксперимент, в котором исследовались 3 фактора, каждый из которых варьировался на четырех уровнях. Данные проведенного эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Исследование производительности АГВП при варьировании тремя факторами

Диаметр питательный $d_1$ , мм	Перепад $Z$ , м	Производительность АГВП, $Q$ , л/с			
		Диаметр подающего трубопровода $d_2$ , мм			
		32	40	50	75
32	0,4	0,3968	0,556	0,641	0,658
	0,3	0,3448	0,446	0,543	0,556
	0,2	0,2703	0,368	0,431	0,439
	0,1	0,1845	0,236	0,294	0,299
40	0,4	0,446	0,676	0,926	1,020
	0,3	0,382	0,595	0,735	0,877
	0,2	0,307	0,472	0,588	0,694
	0,1	0,207	0,323	0,410	0,467
50	0,4	0,459	0,769	1,163	1,613
	0,3	0,394	0,667	0,926	1,389
	0,2	0,316	0,526	0,746	1,111
	0,1	0,216	0,336	0,521	0,746
75	0,4	0,472	0,820	1,351	2,632
	0,3	0,403	0,704	1,087	2,273
	0,2	0,327	0,575	0,862	1,786
	0,1	0,227	0,397	0,602	1,250

По полученным экспериментальным данным таблица 2, были построены поверхности отклика рисунок 5.



а – при величине  $z = 0,4$  м; б – при величине  $z = 0,3$  м;  
 в – при величине  $z = 0,2$  м; г – при величине  $z = 0,1$  м;

Рисунок 5 – Изменение величины расхода при варьировании диаметрами питательного и подающего трубопровода для каждого значения перепада  $z$  согласно проведенному эксперименту

Анализ поверхностей отклика на рисунке 5 показывает, что с превышением диаметра питательного трубопровода над диаметром подающего трубопровода на 20% величина расхода увеличивается на 10%, а при 30% на 14%. При увеличении диаметра подающего трубопровода над диаметром питательного трубопровода на 20 % величина расхода увеличивается на 23%, а при 20% на 31%.

Выводы:

1. Выявлены закономерности влияния напора и высоты водоподачи на производительность АГВП. Установлено, что производительность АГВП зависит от разницы между этими величинами, от перепада  $z$ .

2. Выявлены закономерности влияния превышения диаметра подающего трубопровода над питательным, и питательного трубопровода над подающим. Установлено, что с превышением диаметра питательного

трубопровода над диаметром подающего трубопровода на 20% величина расхода увеличивается на 10%, а при 30% на 14%. При увеличении диаметра подающего трубопровода над диаметром питательного трубопровода на 20 % величина расхода увеличивается на 23%, а при 20% на 31%.

### Список литературы

1. Пат. 2457672, Российская Федерация МПК А01G 16/00, А01G 25/00. Способ выращивания риса [Текст] / Н.В. Островский, В.Т. Островский, В.А. Попов, Ж.В. Кизюн (РФ); заявитель и патентообладатель КубГАУ.– 2010145396/13; заявл. 08.11.2010; опубл. 10.08.12; Бюл. № 22. – 6 с.

2. 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.

3. 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.

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

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

6. 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>.

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

### References

1. Pat. 2457672, Rossijskaja Federacija MPK A01G 16/00, A01G 25/00. Spособ vyrashhivaniya risa [Tekst] / N.V. Ostrovskij, V.T. Ostrovskij, V.A. Popov, Zh.V. Kizjun (RF); zajavitel' i patentoobladatel' KubGAU.– 2010145396/13; zajavl. 08.11.2010; opubl. 10.08.12; Bjul. № 22. – 6 s.

2. 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.

3. 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.

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

5. 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 Ku-banskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – Krasnodar: KubGAU, 2011. - №1 (28). - S. 160-163

6. Issledovanie sovместnoj raboty vodnoj i vozdušnoj 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>.

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