

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.624:631.862

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-3-154-170

Натурные экспериментальные исследования процесса ввода животноводческих стоков во всасывающие трубопроводы насосных станций при удобрительных поливах

**Дмитрий Валерьевич Маклаков¹, Владимир Александрович Рудаков²,
Юлия Сергеевна Уржумова³, Сергей Андреевич Тарасьянц⁴**

^{1, 2, 3, 4}Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова –
филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹dmitriy_maklakov98@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9168-3799>

²vladimirrudakov880@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-6989-7906>

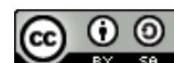
³urzhumovay@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5602-6523>

⁴starasyancz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0076-6850>

Аннотация. Цель: определение возможной степени смешения животноводческих стоков и воды для различных гидравлических параметров элементов установленного оборудования и трубопроводной сети. **Материалы и методы.** Исследования проведены на насосной станции оросительной системы ООО «Рассвет» Куйбышевского района Ростовской области. Показаны на схемах насосные станции с положительной и отрицательной высотой всасывания для возможности универсального использования полученных параметров независимо от отметок воды как в водоисточнике, так и в водовыпуске. При проведении натурных исследований использовалась теория планирования эксперимента. Назначены общие, максимально возможные геометрические и гидравлические параметры сети струйного смесителя удобрений и воды для центробежных насосов. **Результаты.** При анализе выведенных экспериментальным путем уравнений получены зависимости, влияющие на гидравлический процесс введения животноводческих стоков во всасывающие трубопроводы насосной станции. При росте уровня воды в водоисточнике от минус 1,5 до плюс 0,5 м; уровня навозохранилища от 0,5 до 10,0 м и напора смесителя от 0 до 8,0 м коэффициент смешения увеличивается соответственно от 1,0 до 3,0, исходя из приведенных параметров вычисляется коэффициент смешивания и соответственно величина питательных веществ в поливной смеси. **Выводы:** проведенные исследования позволяют установить необходимый коэффициент смешивания животноводческих стоков и воды при вводе смеси во всасывающий трубопровод насосной станции, провести расчет как одноразовой, так и годовой подачи питательных веществ при удобрительном орошении животноводческими стоками на планируемую урожай.

Ключевые слова: насосная станция, всасывающие трубопроводы, смеситель, животноводческие стоки, гидравлические параметры, трубопроводная сеть

Для цитирования: Натурные экспериментальные исследования процесса ввода животноводческих стоков во всасывающие трубопроводы насосных станций при удобрительных поливах / Д. В. Маклаков, В. А. Рудаков, Ю. С. Уржумова, С. А. Тарасьянц // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 3. С. 154–170. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-154-170>.



LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Full-scale experimental studies of the process of introducing livestock effluents into the suction pipelines of pumping stations for fertilizing irrigation

Dmitriy V. Maklakov¹, Vladimir A. Rudakov², Yulia S. Urzhumova³,
Sergey A. Tarasyants⁴

^{1, 2, 3, 4}Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

¹dmitriy_maklakov98@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9168-3799>

²vladimirrudakov880@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-6989-7906>

³urzhumovay@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5602-6523>

⁴starasyancz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0076-6850>

Abstract. Purpose: to determine the possible degree of mixing livestock effluents and water for various hydraulic parameters of elements of installed equipment and pipeline network. **Materials and methods.** The research was carried out at the pumping station of the irrigation system of “Rassvet” LLC of Kuibyshev district Rostov region. The diagrams show pumping stations with positive and negative suction heads for the possibility of universal use of the obtained parameters regardless of the water marks in both the water source and the outlet. When conducting full-scale studies, the theory of experiment planning was used. The general, maximum possible geometric and hydraulic parameters of the fertilizer and water jet mixer network for centrifugal pumps are assigned. **Results.** When analyzing the equations obtained experimentally, the dependences affecting the hydraulic process of introducing livestock effluents into the suction pipelines of the pumping station are obtained. With an increase in the water level in the water source from minus 1.5 to plus 0.5 m; the manure storage level from 0.5 to 10.0 m and the mixer head from 0 to 8.0 m, the mixing coefficient increases from 1.0 to 3.0, respectively; the mixing coefficient and accordingly, the amount of nutrients in the irrigation mixture is calculated based on the above parameters. **Conclusions:** the conducted studies make it possible to determine the necessary mixing coefficient of livestock effluents and water when introducing the mixture into the suction pipeline of the pumping station, to calculate both the one-time and annual supply of nutrients during fertilizing irrigation with livestock effluents for the expected yield.

Keywords: pumping station, suction pipelines, mixer, livestock effluents, hydraulic parameters, pipeline network

For citation: Maklakov D. V., Rudakov V. A., Urzhumova Yu. S., Tarasyants S. A. Full-scale experimental studies of the process of introducing livestock effluents into the suction pipelines of pumping stations for fertilizing irrigation. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(3):154–170. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-154-170>.

Введение. Известно, что животноводческие стоки являются ценными органическими удобрениями, накапливаемыми тысячами тонн в действующих животноводческих комплексах в РФ, странах СНГ, дальнем зарубежье. Стоки вносятся на поля различными видами мобильных разбрызгивателей в осенне-зимний период. В случае необходимости удобрительных поливов в вегетационный период, как правило, используются растворимые минеральные удобрения, разбавленные водой в необходимых про-

порциях, вносимые имеющимися в хозяйстве системами полива – капельными, дождеванием, по бороздам и др. [1–4].

Внесение животноводческих стоков в вегетационный период практически не применяется с использованием разработанных оптимальных технологических схем. В некоторых случаях применяется вытяжка, но способ такого вида дорогой, используется на ограниченных площадях и в закрытом грунте для капельного орошения [5–7].

В настоящей работе предлагается технологическая схема введения животноводческих стоков во всасывающие трубопроводы насосной станции для удобрительных поливов сельскохозяйственных культур в вегетационный период в открытом грунте. Проведены экспериментальные исследования с целью определения степени смешения животноводческих стоков с водой для различных гидравлических параметров элементов установленного оборудования и трубопроводной сети [8].

Материалы и методы. Натурные исследования проводились на насосной станции оросительной системы ООО «Рассвет» Куйбышевского района Ростовской области (рисунок 1).

Схемы ввода животноводческих стоков при положительной (*a*) и отрицательной (*b*) высоте всасывания гидромеханического оборудования насосной станции показаны на рисунках 2*a*, 2*b*. Для реализации поставленной цели действующая насосная станция оборудовалась струйным смесителем 2 [8], напорный трубопровод *b* которого врезан во всасывающий трубопровод 4 основного центробежного насоса 1, ввод животноводческих стоков во всасывающий трубопровод струйного смесителя осуществлялся по трубопроводу 7, рабочий поток под давлением подавался по линии рециркуляции 20. В качестве водоисточника использовалась р. Миус, емкость с реагентами 8 (см. рисунок 3) с объемом 1 м³. Отметки водоисточника 3, емкости с реагентами 8, другие гидравлические параметры сети регулировались задвижками 15–19. Контроль параметров осуществляется манометрами 9–14.

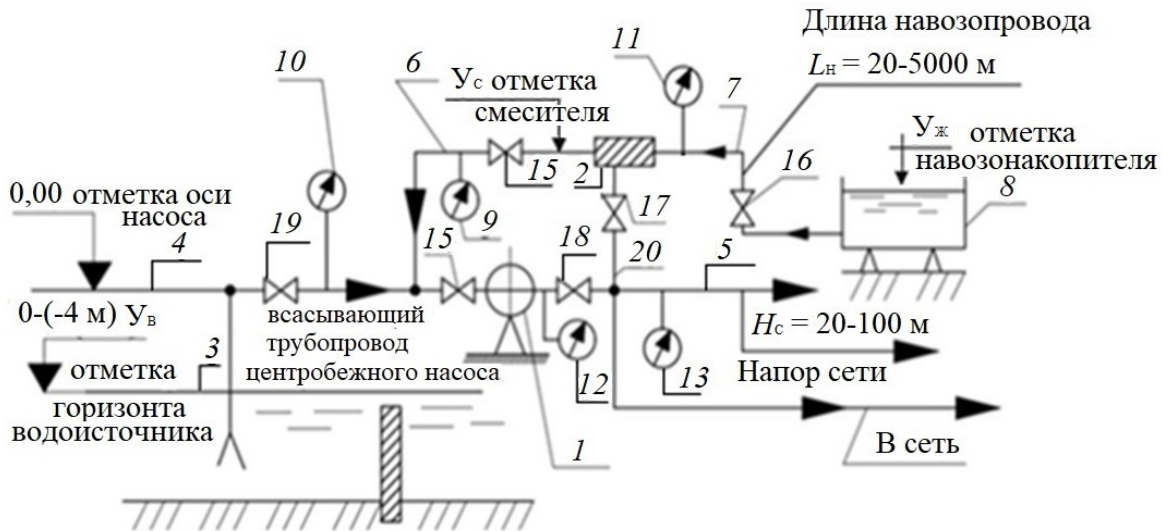


Струйный смеситель Манометры

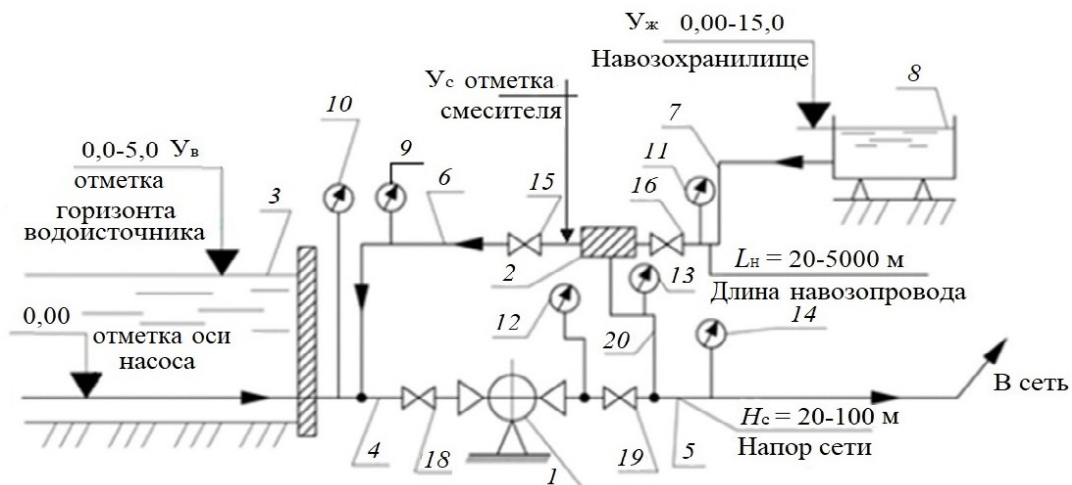
Рисунок 1 – Всасывающие трубопроводы насосной станции ООО «Рассвет» Куйбышевского района Ростовской области с установленным струйным смесителем и трубопроводами подвода животноводческих стоков. Общий вид (фото Ю. С. Уржумовой)

Figure 1 – Suction pipelines of the pumping station “Rassvet” LLC in Kuibyshev district Rostov region with an installed jet mixer and pipelines for supplying livestock effluents. General view (photo by Yu. S. Urzhumova)

а) насосная станция с положительной высотой всасывания
 a) pumping station with positive suction head



б) насосная станция с отрицательной высотой всасывания
 b) pumping station with negative suction head



- 1 – основной центробежный насос; 2 – струйный смеситель; 3 – водоисточник (р. Миус, Ростовская область); 4 – всасывающий трубопровод основного насоса; 5 – напорный трубопровод основного насоса; 6 – напорный трубопровод струйного смесителя; 7 – всасывающий трубопровод струйного смесителя; 8 – навозохранилище; 9–14 – манометры; 15–19 – задвижки; 20 – трубопровод рабочего потока
- 1 – main centrifugal pump; 2 – jet mixer; 3 – water source (Mius river, Rostov region); 4 – suction pipeline of the main pump; 5 – pressure pipeline of the main pump; 6 – pressure pipeline of the jet mixer; 7 – suction pipeline of the jet mixer; 8 – manure storage; 9–14 – manometers; 15–19 – valves; 20 – working flow pipeline

Рисунок 2 – Схема ввода животноводческих стоков с помощью струйного смесителя во всасывающий трубопровод центробежного насоса с положительной (а) и отрицательной (б) высотой всасывания

Figure 2 – Scheme of introducing livestock effluents into the suction pipeline of a centrifugal pump with positive (a) and negative (b) suction head using a jet mixer



**Рисунок 3 – Емкости с реагентами ($V = 1 \text{ м}^3$).
 Общий вид (фото Ю. С. Уржумовой)**
**Figure 3 – Storage tanks with reagents ($V = 1 \text{ м}^3$).
 General view (photo by Yu. S. Urzhumova)**

При проведении натуральных исследований использовалась теория планирования эксперимента, назначены общие, максимально возможные для центробежных насосов геометрические и гидравлические параметры сети струйного смесителя (исходные данные приведены в таблице 1).

Таблица 1 – Исходные данные для сети и смесителя, максимально возможные для транспортировки животноводческих стоков центробежными насосами с одним рабочим колесом

Table 1 – Initial data for the network and the mixer, the maximum possible for the transport of livestock effluents with centrifugal pumps with one impeller

| Наименование параметра | Единица измерения | Величина | Расчетные данные |
|--|----------------------------|-------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Насос К 90/85: - напор - подача | м $\text{м}^3/\text{с}$ | 90 0,025 | Напорно-расходная характеристика К 90/85 [9] |
| Отметки (относительно оси насоса 0,00) водоисточника | м | 0,0–5,0 | Приняты максимально возможные |
| Емкости со стоками | м^3 | 0,0–15,0 | |
| Длина всасывающего трубопровода смесителя (min, max) | м | 20–5000 | Принята |
| Длина напорного трубопровода смесителя | м | 20,0 | Принята |

Продолжение таблицы 1

Table 1 continued

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|--------------------------------|----------------------|--|
| Скорость в трубопроводах центробежного насоса и смесителя: - напорном - всасывающем | м/с м/с | 2,2 1,4 | Справочник по гидравлическим расчетам [10] |
| Геометрическая характеристика m смесителя (m – отношение площади поперечного сечения камеры смешения смесителя к площади поперечного сечения сопла) | б/р (безразмерная величина) | 5,0 | Кольцевой двухповерхностной [4] |
| Коэффициенты гидравлических сопротивлений элементов смесителя: - сопла (ζ_0) - диффузора (ζ_d) - камеры смешения (ζ_c) | б/р | 0,10 0,25 0,05 | [9] |
| Рабочий напор струйного смесителя H_p | м | 80 | Напорно-расходная характеристика К 90/85 [9] |
| Коэффициент гидравлического сопротивления трубопроводов (λ) | б/р | 0,02 | Справочник по гидравлическим расчетам [10] |

Измеряемые и определяемые величины

При проведении исследований гидравлические параметры в трубопроводах определялись (рисунок 4):

- напор струйного смесителя 2 (H_r) – манометром 9 (см. рисунок 2);
- напор во всасывающем трубопроводе 4 центробежного насоса 1 (H_0) – манометром 10;
- напор во всасывающем трубопроводе 7 струйного смесителя 2 ($H_{вс}$) – манометром 11;
- напор рабочего потока в трубопроводе 20 струйного смесителя 2 – манометром 13 (H_p);
- напор центробежного насоса 5 ($H_{ц}$) перед задвижкой 19 – манометром 12;
- напор в напорном трубопроводе 5 центробежного насоса 1 (после задвижки 19) ($H_{ц}$) – манометром 14.



Рисунок 4 – Манометр в системе подачи смеси животноводческих стоков и воды. Общий вид (фото С. А. Тарасьянца)

Figure 4 – Manometer in the system of supplying a mixture of livestock effluents and water. General view (photo by S. A. Tarasyants)

Расходы (определялись с использованием манометров):

- во всасывающем трубопроводе 4 (до входа трубопровода) центробежного насоса 1 ($Q_{ц}$) – по манометру 12 и напорно-расходной характеристике центробежного насоса К 90/85;

- рабочего потока напорного трубопровода струйного смесителя (Q_0) – по скорости потока V_0 в сопле: $V_0 = \phi \sqrt{2gH_{ц}}$; $Q_0 = V_0 \cdot \omega_0$ (где ω_0 – площадь поперечного сечения выходного отверстия сопла);

- центробежного насоса в трубопроводе 5 $Q_{н}$ (после задвижки 19) – как разница расходов $Q_{ц} - Q_0 = Q_{н}$;

- всасывающего трубопровода 7 струйного смесителя 2: $Q_1 = Q_0 \cdot \alpha_0$ (α_0 – коэффициент эжекции струйного смесителя по суммарному расходу Q_2);

- напорного трубопровода 6 струйного смесителя 2: $Q_2 = Q_1 + Q_0$.

По напорам и расходам в сети для возможных проектных вариантов существующих эксплуатируемых насосных станций определяется величина

на коэффициента эжекции (степень смешения) струйного смесителя
 $\alpha_0 = Q_1/Q_0$.

Результаты и обсуждение. Для реализации поставленной цели при проведении экспериментальных исследований использовалась теория планирования эксперимента [11], где в качестве факторов принимались:

- отметки поверхности воды в водоисточнике $Y_B (X_1) = 0...5$ м;
- отметки поверхности животноводческих стоков $Y_{ж} (X_2) = 0...15$ м;
- отметки оси смесителя $Y_c (X_3) = 1...2$ м;
- длина навозопровода $L_n (X_4) = 20...5000$ м;
- напор в сети $H_c (X_5) = 6...10$ м (перед всасывающим патрубком смесителя);
- напор струйного смесителя $H_r (X_6) = 1...20$ м.

В качестве критерия принимается α_0 – коэффициент смешения воды с животноводческими стоками.

Для первоначальной оценки каждого из вышеперечисленных факторов проведена первая группа опытов. Условия кодирования показаны в таблице 2, матрица и результаты в таблице 3.

Таблица 2 – Принятые интервалы факторов

Table 2 – Accepted intervals of factors

| Обозначение фактора | Код | Основной уровень, м | Интервал | Нижний | Верхний |
|-----------------------------------|-----------|---------------------|----------|---------|----------|
| Y_B (отметка водоисточника) | X_1 , м | (0) 3 | 1 | (–) 2 | (+) 4 |
| $Y_{ж}$ (отметка навозохранилища) | X_2 , м | (0) 10 | 5 | (–) 5 | (+) 15 |
| Y_c (отметка смесителя) | X_3 , м | (0) 1,5 | 0,5 | (–) 1,0 | (+) 2,0 |
| L_n (длина навозопровода) | X_4 , м | (0) 2000 | 1500 | (–) 500 | (+) 2000 |
| H_c (напор в сети) | X_5 , м | (0) –1,0 | 5,0 | (–) 4,0 | (+) 4,0 |
| H_r (напор смесителя) | X_6 , м | (0) 8,0 | 7,0 | (–) 1,0 | (+) 15,0 |

Таблица 3 – Матрица и результаты первой группы опытов

Table 3 – Matrix and results of the first group of experiments

| № опыта | $X_1 (Y_B)$ | $X_2 (Y_{ж})$ | $X_3 (Y_c)$ | $X_4 (L_n)$ | $X_5 (H_c)$ | $X_6 (H_r)$ | Результат, $\alpha_0 = Q_1/Q_0$ |
|---------|-------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | – | – | – | – | – | – | 2,41 |
| 2 | + | + | + | – | + | – | 1,82 |

Продолжение таблицы 3

Table 3 continued

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----|---|---|---|---|---|---|------|
| 3 | + | + | – | + | – | + | 0,90 |
| 4 | – | – | + | + | + | – | 2,22 |
| 5 | + | – | – | – | + | + | 0,70 |
| 6 | – | + | + | – | – | + | 1,64 |
| 7 | – | + | – | + | + | – | 2,0 |
| 8 | + | – | + | + | – | – | 1,90 |
| 9 | + | + | – | – | – | – | 1,88 |
| 10 | – | – | + | – | + | – | 1,70 |
| 11 | – | – | – | + | – | + | 1,2 |
| 12 | + | + | + | + | + | – | 1,64 |
| 13 | + | – | + | – | – | + | 0,64 |
| 14 | + | – | – | + | + | – | 1,50 |
| 15 | – | + | + | + | – | – | 1,46 |
| 16 | – | + | – | – | + | + | 0,80 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,70 |

Отметки приняты относительно оси центробежного насоса.

По результатам опытов, используя уравнение общего вида:

$$\alpha_0 = b_0 \pm b_1 X_1 \pm b_2 X_2 \pm b_3 X_3 \pm b_4 X_4 \pm b_5 X_5 \pm b_6 X_6,$$

где $\sum_1^N \alpha_0$ – сумма результата, отнесенная к количеству опытов, $N = 16$;

$$b_0 \frac{\sum_1^N \alpha_0}{N} \text{ – свободный член;}$$

$$b_i \frac{\sum_1^N X_i \alpha_0}{N} \text{ – коэффициент при факторах,}$$

составили зависимость с фактическими величинами:

$$\alpha_0 = 1,94 - 3,15X_1 - 1,29X_2 + 0,93X_3 + 0,54X_4 + 1,05X_5 - 8,31X_6.$$

Влияние каждого фактора оценивается значением и величиной удвоенного коэффициента регрессии (таблица 4).

Таблица 4 – Степень влияния факторов на критерий α_0

Table 4 – Effects of influence quantity on the criterion α_0

| Фактор | X_1 ($У_в$) | X_2 ($У_ж$) | X_3 ($У_с$) | X_4 (L_n) | X_5 (H_c) | X_6 (H_r) |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Степень влияния, % | 20,6 | 8,45 | 6,09 | 3,47 | 6,88 | 54,45 |

По данным таблицы 4 построена кривая степени влияния факторов на коэффициент смещения α_0 (рисунок 5).

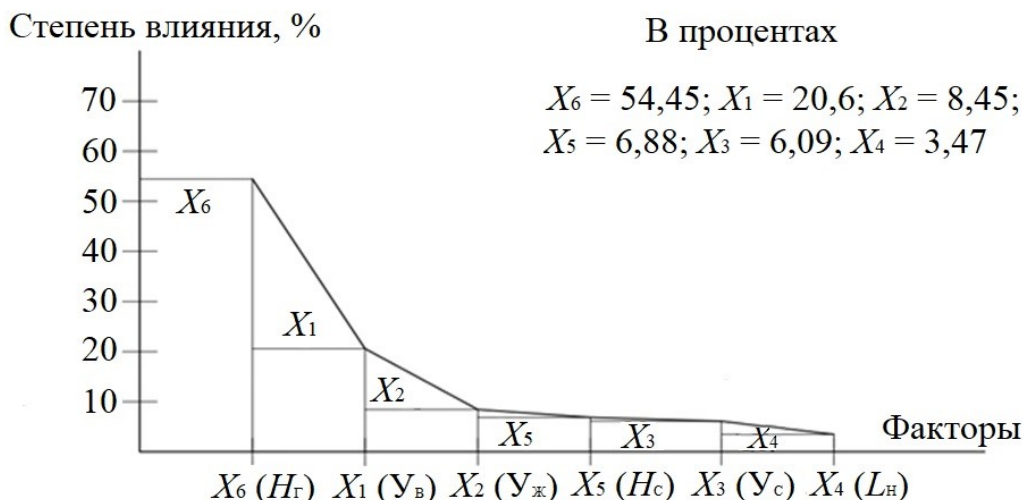


Рисунок 5 – Кривая степени влияния факторов на коэффициент смешения

Figure 5 – The curve of effects of influence quantity on mixing ratio

Анализ данных таблицы 4 и рисунка 6 показывает, что наибольшее влияние на коэффициент смешения смесителя α_0 оказывает напор струйного аппарата $H_r = 54,45$ %, наименьшее влияние – длина навозопровода $L_n = 3,47$ %.

При дальнейших исследованиях и выводе окончательного уравнения для определения коэффициента смешения животноводческих стоков с водой проведена вторая группа опытов с наиболее значимыми факторами $X_6 (H_r) = 54,45$ %, $X_1 (Y_B) = 20,6$ % и $X_2 (Y_{ж}) = 8,45$ % с измененными интервалами (таблица 5) и стабилизированными факторами $X_3 (Y_c)$, $X_4 (L_n)$, $X_5 (H_c)$ на уровнях соответственно 1,5 м, 2000 м, +4 м, которые согласуются с фактическими значениями в хозяйстве. Матрица планирования приведена в таблице 6.

Таблица 5 – Кодирование переменных во второй группе опытов

Table 5 – Coding of variables in the second group of experiments

| Фактор | Код | Основной уровень | Интервал | Нижний | Верхний |
|-----------------------------------|-------|------------------|----------|--------|---------|
| Y_B (отметка водоисточника) | X_1 | (0) –1 | 4,0 | –3 | +1 |
| $Y_{ж}$ (отметка навозохранилища) | X_2 | +5,0 | 5,0 | 0 | +10 |
| H_r (напор смесителя) | X_6 | 5,0 | 5,0 | 0,0 | +10,0 |

Таблица 6 – Матрица и результаты второй группы опытов
Table 6 – Matrix and results of the second group of experiments

| № опыта | Отметка водоисточника $Y_B (X_1)$ | Отметка навозохранилища $Y_{ж} (X_2)$ | Напор смесителя $H_{Г} (X_6)$ | Величина фактора, м | | | Критерий α_0 |
|---------|-----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------|---------------|---------------------|
| | | | | $Y_B (X_1)$ | $Y_{ж} (X_2)$ | $H_{Г} (X_6)$ | |
| 1 | + | + | 0 | +1,0 | +10,0 | +5,0 | 1,64 |
| 2 | + | - | 0 | +1,0 | 0,0 | +5,0 | 1,70 |
| 3 | - | + | 0 | -3,0 | +10,0 | +5,0 | 1,84 |
| 4 | - | - | 0 | -3,0 | 0,0 | +5,0 | 1,60 |
| 5 | + | 0 | + | +1,0 | +5,0 | +10,0 | 1,20 |
| 6 | + | 0 | - | +1,0 | +5,0 | 0,0 | 2,41 |
| 7 | - | 0 | + | -3,0 | +5,0 | +10,0 | 1,15 |
| 8 | - | 0 | - | -3,0 | +5,0 | 0,0 | 2,80 |
| 9 | 0 | + | + | -1,0 | +10,0 | +10,0 | 1,10 |
| 10 | 0 | + | - | -1,0 | +10,0 | 0,0 | 2,66 |

Обработка результатов для вывода уравнения

| | | | | | | |
|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
| $\Sigma(+)=6,95$ | $\Sigma(+)=7,24$ | $\Sigma(+)=3,45$ | $10\alpha_0=14,34$ | $22\alpha_0=10,54$ | $33\alpha_0=11,31$ | $\Sigma\alpha_0=18,1$ |
| $\Sigma(-)=5,79$ | $\Sigma(-)=3,3$ м | $\Sigma(-)=7,87$ | $12\alpha_0=-0,3$ | | $23\alpha_0=-1,56$ | |
| $10\alpha_0=+1,6$ | $20\alpha_0=+3,44$ | $30\alpha_0=-4,42$ | $13\alpha_0=-0,45$ | | | |

$b_0 = \rho_2 + \rho_3$, где $\rho_2 = 5/9 \alpha_0$, $\rho_3 = 1/3 \sum 11\alpha_0 - 1/3 \alpha_0$, $b_0 = \rho_2 + \rho_3 = 2,60$

| | | | |
|--|--------------|--------------|--|
| $11\alpha_0$ | $22\alpha_0$ | $33\alpha_0$ | $\rho_3 = 1/3 \sum 11\alpha_0 - 1/3 \alpha_0 - 1/3 \cdot 14,34 + 1/3 \cdot 18,01 = 4,78 - 6,0 = -1,22$ |
| 14,34 | 10,54 | 11,31 | $\rho_4 = -0,10417 \cdot 1,1\alpha_0 = -1,49$ |
| $bY_B^2 = 1/4 \cdot 11\alpha_0 + \rho_3 = 1/4 \cdot 14,34 - 1,22 = 2,30$ | | | |
| $bY_{ж}^2 = 1/4 \cdot 22\alpha_0 + \rho_3 = 1/4 \cdot 10,54 - 1,22 = 1,41$ | | | |
| $bH_{Г}^2 = 1/4 \cdot 33\alpha_0 + \rho_3 = 1/4 \cdot 11,31 - 1,22 = 1,60$ | | | |

С учетом вышеизложенного зависимость коэффициента смешения от факторов в натуральных величинах выглядит следующим образом:

$$\alpha_0 = 2,60 + 1,16Y_B + 3,4Y_{ж} - 4,42H_{Г} - 0,3Y_B \cdot Y_{ж} - 0,45Y_B \cdot H_{Г} - 1,56Y_{ж} \cdot H_{Г} + 2,30Y_B^2 + 1,41Y_{ж}^2 + 1,60H_{Г}^2. \quad (1)$$

Анализ уравнения (1) с учетом стабилизированных факторов $X_3 (Y_c)$, $X_4 (L_H)$, $X_5 (H_c)$ на уровнях соответственно 1,5 м, 2000 м и +4 м дает возможность назначения всех шести факторов, влияющих на коэффициент

смешения воды с животноводческими стоками, в обозначенных в таблицах 2, 5 интервалах варьирования.

Сравнение опытных и расчетных данных приведено в таблице 7.

Таблица 7 – Сравнение опытных данных с расчетными
Table 7 – Comparison of experimental data with calculated ones

| № опыта | Величина фактора $У_в (X_1), У_ж (X_2), H_г (X_6)$ | | | | |
|---------|--|--|---------------------------------|------------------------------------|------|
| | Назначенный, м | Полученный в опыте критерий α_0 | Рассчитанный по зависимости (1) | Отклонения опытные минус расчетные | |
| | | | | $\pm\Delta$ | % |
| 1 | +1,0; 10,0; +5,0 | 1,64 | 1,75 | -0,11 | -6,7 |
| 2 | +1,0; 0,00; +5,0 | 1,70 | 1,59 | 0,11 | 6,5 |
| 3 | -3,0; +10,0; +5,0 | 1,84 | 1,76 | 0,08 | 4,3 |
| 4 | -3,0; +10,0; +5,0 | 1,60 | 1,75 | -0,15 | -9,4 |
| 5 | +1,0; +5,0; +10,0 | 1,20 | 1,11 | 0,09 | 7,5 |
| 6 | +1,0; +5,0; 0,0 | 2,41 | 2,30 | 0,11 | 4,6 |
| 7 | -3,0; +5,0; +10,0 | 1,15 | 1,23 | -0,08 | -7,0 |
| 8 | -3,0; +5,0; 0,0 | 2,80 | 2,64 | 0,16 | 5,7 |
| 9 | -1,0; +10,0; +10,0 | 1,10 | 1,14 | -0,04 | -3,6 |
| 10 | -1,0; +10,0; 0,0 | 2,66 | 2,84 | -0,18 | -6,8 |

Анализ данных таблицы 7 показывает оценку полученного уравнения (1) при использовании всех возможных факторов, влияющих на гидравлический процесс введения животноводческих стоков во всасывающие трубопроводы насосных станций при удобрительных поливах. Максимальное отличие полученных опытным путем значений коэффициента эжекции смесителя α_0 от рассчитанного по уравнению (1) составляет $\approx 6\%$ (1,70 против 1,59, опыт 2), что практически указывает на допустимую ошибку опыта.

Кроме того, оценка влияния каждого фактора на коэффициент α_0 показана на рисунке 6.

Из данных рисунка 6 видно, что при увеличении уровня воды в водоисточнике от минус 1,5 до плюс 0,5 м, уровня навозохранилища от 0,5 до 10,0 м и напора смесителя от 0 до 8,0 м коэффициент эжекции повышается соответственно от 1,0 до 3,0, исходя из данных параметров вычисля-

ется коэффициент смешивания и соответственно показатель питательных веществ в поливной смеси [12].

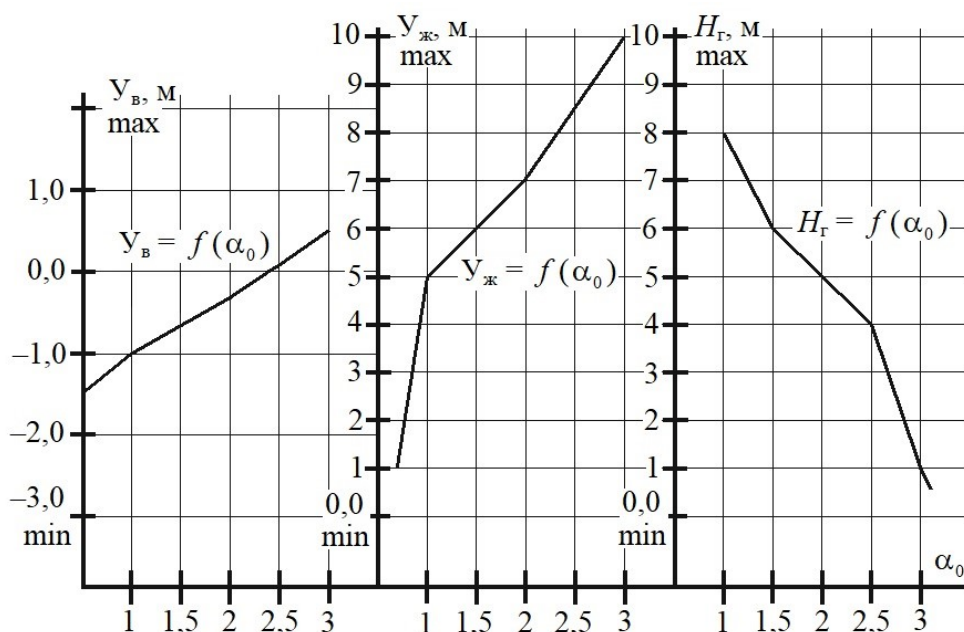


Рисунок 6 – Зависимость факторов Y_B (X_1), Y_J (X_2), H_r (X_6) от коэффициента α_0

Figure 6 – Dependence of factors Y_B (X_1), Y_J (X_2), H_r (X_6) on the coefficient α_0

Выводы. Проведенные экспериментальные исследования позволяют: установить необходимый коэффициент смешивания животноводческих стоков и воды при вводе смеси во всасывающий трубопровод насосной станции; определить допустимые гидравлические параметры – отметки поверхности воды в водоисточнике Y_B , отметку поверхности животноводческих стоков Y_J , отметку оси смесителя Y_c , напор струйного смесителя H_r , длину навозопровода L_n , напор в сети H_c ; провести расчет как одноразовой $Q_{ж}$, так и годовой $Q_{ж.г}$ нормы подачи питательных веществ на планируемую урожайность при удобрительном орошении животноводческими стоками.

Список источников

1. Бондаренко Е. В., Подольская Е. Е., Таркинский В. Е. Современные машины для поверхностного внесения твердых минеральных удобрений // Агрофорум. 2022. № 1. С. 60–63. DOI: 10.24412/cl-34984-2022-1-60-63.

2. Токарев И. В., Куваев А. Н. Анализ технических средств для внутрипочвенного внесения гранулированных минеральных удобрений // Молодой ученый. 2019. № 48(286). С. 89–91.
3. Астахов В. С., Иванчиков Г. О. К вопросу значимости минеральных удобрений в управлении производственным процессом и повышение их эффективности при использовании различных машин и способов внесения // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 2. С. 192–194.
4. Оптимальные размеры и параметры кольцевого струйного насоса / Р. Р. Мазанов, В. Б. Панов, Ю. С. Уржумова, С. А. Тарасьянц // Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. Махачкала, 2021. С. 404–415.
5. Оросительная система с использованием животноводческих стоков / Е. В. Кузнецов, А. Е. Хаджиди, М. Е. Кузнецова, А. Н. Куртнезирова, Х. И. Килиди, К. В. Колесниченко // Успехи современного естествознания. 2019. № 3, ч. 2. С. 198–203. DOI: 10.17513/use.37093.
6. Çetin Ö., Akalp E. Efficient use of water and fertilizers in irrigated agriculture: drip irrigation and fertigation // Acta Horticulturae et Regioecturae. 2019. 22(2). P. 97–102. DOI: 10.2478/ahr-2019-0019.
7. Овчинников В. А., Овчинникова А. В. Рабочий орган для внесения минеральных удобрений // Тракторы и сельхозмашины. 2018. № 2. С. 13–16. <https://doi.org/10.17816/0321-4443-66372>.
8. Пат. на полезную модель 193355 Российская Федерация, МПК А 01 С 23/04. Струйный четырехкомпонентный насос смеситель / Рудаков В. А., Дегтярева К. А., Уржумова Ю. С., Тарасьянц С. А.; заявитель и патентообладатель Дон. гос. аграр. ун-т. № 2019111839; заявл. 18.04.19; опубл. 25.10.19, Бюл. № 12. 3 с.
9. Балыгин В. В., Крыжановский А. Н. Насосы: кат.-справ. Новосибирск: НГАСУ, 1999. 97 с.
10. Справочник по гидравлическим расчетам / П. Г. Киселев [и др.]; под ред. П. Г. Киселева. М.: Энергия, 1984. 312 с.
11. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. М.: Статистика, 1974. 192 с.
12. The calculation basis for a four-component jet mixer for fertilizer and water / S. A. Tarasyants, V. A. Rudakov, Y. S. Urzhumova, K. A. Degtiareva // E3S Web of Conferences. 1st International Scientific and Practical Conference. 2021. Vol. 262. 01035. DOI: 10.1051/e3sconf/202126201035.

References

1. Bondarenko E.V., Podolskaya E.E., Tarkivsky V.E., 2022. *Sovremennyye mashiny dlya poverkhnostnogo vneseniya tverdykh mineral'nykh udobreniy* [Modern machines for surface application of solid mineral fertilizers]. *Agroforum* [Agroforum], no. 1, pp. 60-63, DOI: 10.24412/cl-34984-2022-1-60-63. (In Russian).
2. Tokarev I.V., Kuvaev A.N., 2019. *Analiz tekhnicheskikh sredstv dlya vnutripochvennogo vneseniya granulirovannykh mineral'nykh udobreniy* [Analysis of technical means for intra-soil application of granulated mineral fertilizers]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], no. 48(286), pp. 89-91. (In Russian).
3. Astakhov V.S., Ivanchikov G.O., 2021. *K voprosu znachimosti mineral'nykh udobreniy v upravlenii produktsionnym protsessom i povyshenie ikh effektivnosti pri ispol'zovanii razlichnykh mashin i sposobov vneseniya* [On issue of the importance of mineral fertilizers in the production process management and increasing their efficiency when using various machines and methods of application]. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystven-*

noy akademii [Bulletin of Belarusian State Agricultural Academy], no. 2, pp. 192-194. (In Russian).

4. Mazanov R.R., Panov V.B., Urzhumova Yu.S., Tarasyants S.A., 2021. *Optimal'nye razmery i parametry kol'tseвого струйного насоса* [Optimal dimensions and parameters of the ring jet pump]. *Innovatsionnye tekhnologii v proizvodstve i pererabotke sel'skokhozyaystvennoy produktsii: sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovative Technologies in the Production and Processing of Agricultural Products: Proc. of the International Scientific-Practical Conference]. Makhachkala, pp. 404-415. (In Russian).

5. Kuznetsov E.V., Khadzhide A.E., Kuznetsova M.E., Kurtnezirov A.N., Kilidi Kh.I., Kolesnichenko K.V., 2019. *Orositel'naya sistema s ispol'zovaniem zhivotnovodcheskikh stokov* [Irrigating system using animatic drains]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in Current Natural Sciences], no. 3, pt. 2, pp. 198-203, DOI: 10.17513/use.37093. (In Russian).

6. Çetin Ö., Akalp E., 2019. Efficient use of water and fertilizers in irrigated agriculture: drip irrigation and fertigation. *Acta Horticulturae et Regiotecturae*, no. 22(2), pp. 97-102, DOI: 10.2478/ahr-2019-0019.

7. Ovchinnikov V.A., Ovchinnikova A.V., 2018. *Rabochiy organ dlya vneseniya mineral'nykh udobreniy* [The working body for the application of mineral fertilizers]. *Traktory i sel'khoz mashiny* [Tractors and Agricultural Machinery], no. 2, pp. 13-16, <https://doi.org/10.17816/0321-4443-66372>. (In Russian).

8. Rudakov V.A., Degtyareva K.A., Urzhumova Yu.S., Tarasyants S.A., 2019. *Struynyy chetyrekhkomponentnyy nasos smesitel'* [Four-Component Jet Pump Mixer]. Patent RF, no. 193355. (In Russian).

9. Balygin V.V., Kryzhanovsky A.N., 1999. *Nasosy: katalog-spravochnik* [Pumps: Reference Catalogue]. Novosibirsk, NGASU, 97 p. (In Russian).

10. Kiselev P.G. [et al.], 1984. *Spravochnik po gidravlicheskim raschetam* [Handbook of Hydraulic Calculations]. Moscow, Energy Publ., 312 p. (In Russian).

11. Voznesensky V.A., 1974. *Statisticheskie metody planirovaniya eksperimenta v tekhniko-ekonomicheskikh issledovaniyakh* [Statistical Methods of Experiment Planning in Technical and Economic Studies]. Moscow, Statistics Publ., 192 p. (In Russian).

12. Tarasyants S.A., Rudakov V.A., Urzhumova Y.S., Degtyareva K.A., 2021. The calculation basis for a four-component jet mixer for fertilizer and water. E3S Web of Conferences. 1st International Scientific and Practical Conference, vol. 262, 01035, DOI: 10.1051/e3sconf/202126201035.

Информация об авторах

Д. В. Маклаков – аспирант;

В. А. Рудаков – аспирант;

Ю. С. Уржумова – доцент кафедры мелиорации земель, кандидат технических наук, доцент;

С. А. Тарасьянц – профессор кафедры водоснабжения и использования водных ресурсов, доктор технических наук, профессор.

Information about the authors

D. V. Maklakov – Postgraduate Student;

V. A. Rudakov – Postgraduate Student;

Yu. S. Urzhumova – Associate Professor of Land Reclamation Department, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

S. A. Tarasyants – Professor of the Department of Water Supply and Use of Water Resources, Doctor of Technical Sciences, Professor.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата,
самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.*

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical
violations in scientific publications.*

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

*Статья поступила в редакцию 03.05.2023; одобрена после рецензирования 08.08.2023;
принята к публикации 10.08.2023.*

*The article was submitted 03.05.2023; approved after reviewing 08.08.2023; accepted for
publication 10.08.2023.*