

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.624:631.8

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-3-171-187

Теоретические основы расчета системы ввода органических удобрений во всасывающие трубопроводы насосных станций при удобрительных поливах сельскохозяйственных культур

Владимир Александрович Рудаков¹, Дмитрий Валерьевич Маклаков²,
Сергей Андреевич Тарасьянц³, Юлия Сергеевна Уржумова⁴

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

¹vladimirrudakov880@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-6989-7906>

²dmitriy_maklakov98@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9168-3799>

³starasyancz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0076-6850>

⁴urzhumovay@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5602-6523>

Аннотация. Цель: теоретически обосновать расчет системы ввода органических удобрений во всасывающие трубопроводы насосных станций при удобрительных поливах сельскохозяйственных культур. **Материалы и методы.** Основы расчета системы ввода органических удобрений во всасывающие трубопроводы насосных станций при удобрительных поливах разработаны на базе литературных источников и собственных исследований. При наличии состава питательных элементов в навозе крупного рогатого скота (КРС), конского, свиного или овечьего для запланированного урожая принятой культуры рассчитываются разовый и годовой объемы внесения по наиболее токсичному элементу – азоту. Указано, что в случае дефицита питательных веществ по фосфору и калию проводится дополнительный расчет по внесению минеральных удобрений. **Результаты.** В работе приведен пример расчета годового объема поливной смеси для кукурузы на силос при выносе питательных веществ с принятым урожаем зеленой массы 500 ц/га. Расчет определяется: норма внесения, содержание азота в норме внесения, годовой объем поливной смеси при содержании азота 0,15 %. В примере расчет проводится для возможного наличия удобрений в стоках КРС по двум вариантам технологических схем: без использования смесителя, при вводе удобрений из накопителя непосредственно во всасывающий трубопровод; с использованием смесителя, при вводе удобрений из накопителя во всасывающий патрубок смесителя. Для расчета приводятся исходные данные гидравлических параметров, в качестве основного расчетного параметра принимается расход навоза КРС влажностью 92–95 %. **Вывод:** разработанный теоретический расчет системы ввода органических удобрений во всасывающие трубопроводы насосных станций позволяет определить норму разового и годового внесения удобрений, установить гидравлические параметры системы ввода удобрений без струйного смесителя.

Ключевые слова: всасывающий трубопровод, питательные элементы, насосная станция, смеситель, удобрительные поливы, поливная смесь

Для цитирования: Теоретические основы расчета системы ввода органических удобрений во всасывающие трубопроводы насосных станций при удобрительных поливах сельскохозяйственных культур / В. А. Рудаков, Д. В. Маклаков, С. А. Тарасьянц, Ю. С. Уржумова // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 3. С. 171–187. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-171-187>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Theoretical foundations of calculating the system for the organic fertilizers introduction in suction pipelines of pumping stations for fertilizing irrigation agricultural crops

Vladimir A. Rudakov¹, Dmitriy V. Maklakov², Sergey A. Tarasyants³,
Yulia S. Urzhumova⁴

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

¹vladimirrudakov880@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-6989-7906>

²dmitriy_maklakov98@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9168-3799>

³starasyancz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0076-6850>

⁴urzhumovay@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5602-6523>

Abstract. Purpose: to substantiate theoretically the calculation of the system for introducing organic fertilizers into the suction pipelines of pumping stations during fertilizing irrigation of agricultural crops. **Materials and methods.** The foundations of calculating the system of introducing organic fertilizers into the suction pipelines of pumping stations during fertilizing irrigation are developed on the basis of literary sources and authors' research. If there is a composition of nutrients in the manure of cattle (CM), horse, pig or sheep for the planned harvest of the adopted crop, the one-time and annual application amounts for the most toxic element – nitrogen are calculated. It is indicated that in case of a deficiency of nutrients for phosphorus and potassium, an additional calculation for the mineral fertilizers introduction is carried out. **Results.** An example of calculating the annual amount of irrigation mixture for corn for silage when removing nutrients with an accepted harvest of green mass of 500 q/ha is provided. The calculation is determined by: application rate, cubic meters/ha; nitrogen content in the application rate, kg/ha; the annual volume of the irrigation mixture, with a nitrogen content of 0.15 %. In the example, the calculation is performed for the possible presence of fertilizers in cattle drains according to two variants of technological schemes: without using a mixer, when introducing fertilizers from the storage tank directly into the suction pipeline; using a mixer, when introducing fertilizers from the storage tank into the suction pipe of the mixer. For the calculation, the initial data of hydraulic parameters are given, the consumption of cattle manure with a humidity of 92–95 % is taken as the main calculation parameter. **Conclusions:** the developed theoretical calculation of the system for introducing organic fertilizers into the suction pipelines of pumping stations allows determining the rate of one-time and annual fertilizer application and determining the hydraulic parameters of the fertilizer input system without a jet mixer.

Keywords: suction pipeline, nutrient elements, pumping station, mixer, fertilizing irrigation, irrigation mixture

For citation: Rudakov V. A., Maklakov D. V., Tarasyants S. A., Urzhumova Yu. S. Theoretical foundations of calculating the system for the organic fertilizers introduction in suction pipelines of pumping stations for fertilizing irrigation agricultural crops. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(3):171–187. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-3-171-187>.

Введение. Необходимость теоретического расчета заключается в подтверждении возможности ввода органических удобрений во всасывающие

трубопроводы насосного оборудования при удобрительных поливах. Известно, что концентрированные питательные вещества, находящиеся как в минеральных, так и в органических удобрениях, при удобрительных поливах сельхозкультур смешивают с водой в необходимых пропорциях для исключения возможной передозировки наиболее токсичных элементов (азота) [1–3].

Оптимальным способом разбавления является ввод удобрений во всасывающий трубопровод насосного агрегата, транспортирующего воду на орошаемые участки. В таком случае без дополнительных устройств удобрения разбавляются простым легкодоступным способом с одновременной транспортировкой смеси в оросительную сеть. Удобрительные поливы с подобным вводом удобрений возможны для всех способов орошения оросительных систем (капельное, дождевание, внутрипочвенное, полив по бороздам и др.) [4].

В связи с вышеизложенным актуальность мероприятий, предлагаемых в настоящей работе, не вызывает сомнений и указывает на необходимость разработки теоретических основ расчета системы ввода органических удобрений в поливную смесь при удобрительных поливах.

Материалы и методы. При подготовке поливной смеси, исходя из состава органических и сложных минеральных удобрений (таблицы 1, 2), концентрация азота (наиболее токсичного элемента, по которому проводится расчет) не должна превышать в зависимости от культуры 1000–1500 мг/л (0,10–0,15 %). При разработке теоретических основ ввода удобрений, используя данные таблиц 1, 2, по запланированному урожаю принятой культуры рассчитывают разовый и годовой объем внесения органических удобрений.

Таблица 1 – Состав органических удобрений [5]

Table 1 – Composition of organic fertilizers [5]

Удобрение	Содержание элементов питания (примерное), %			Вода, %	Норма внесе- ния, т/га
	Азот N	Фосфор P ₂ O ₅	Калий K ₂ O		
Навоз крупного рогатого скота (КРС) (влажность 90–92 %)	0,54	0,28	0,60	65,0	30–60
Конский	0,59	0,26	0,59	69,0	30–60
Овец	0,86	0,47	0,88	49,0	30–60
Свиной	0,84	0,58	0,62	60,7	30–60
Навоз полужидкий (влажность 92–97 %) КРС	0,40	0,20	0,45	88,5	30–60
Птичий помет (куриный невысушенный)	0,7–1,9	1,5–2,0	0,8–1,0	56	1,5–2,0
Примечание – Навоз влажностью до 92 % считается полужидким, до 97 % – жидким, более 97 % – навозными стоками.					

Таблица 2 – Состав сложных минеральных удобрений [5]

Table 2 – Composition of complex mineral fertilizers [5]

Удобрение	Химическая формула	Содержание питательных веществ, %		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Аммонизированный суперфосфат	NH ₄ H ₂ PO ₄ + CaHPO ₄	2–3	18	–
Аммофос	NH ₄ H ₂ PO ₄	11–12	46–60	–
Диаммофос	(NH ₄) ₂ HPO ₄	20–21	51–53	–
Калийная селитра	KNO ₃	13,5	–	46,5
Метафосфат калия	KPO ₃	–	60,1	39,8
Аммония	2NH ₄ PO ₃	17	80	–
Фосфоаммомагnezия	MgNH ₄ PO ₄ ·H ₂ O	8	40	–

В случае дефицита питательных веществ по фосфору P₂O₅ и калию K₂O, используя данные таблицы 2 и вышеприведенные рекомендации, проводят расчет недостающих элементов. Норма внесения удобрений $M_{\text{ст}}$, м³/га, определяется по зависимости:

$$M_{\text{ст}} = \beta \frac{B_a^y}{10K_1 \cdot K_2 C},$$

где β – коэффициент обеспеченности почвы питательными веществами (0,4);

B_a^y – вынос азота с урожаем (кг/га);

K_1 – коэффициент использования питательных веществ (0,7 – для азота, 0,6 – для фосфора P₂O и калия K₂O);

K_2 – потери питательных веществ при поливе (0,85);

C – концентрация питательных веществ смеси, %.

Пример расчета годового объема поливной смеси $W_{п.с.}$ ($м^3/га$) приведен в таблице 3 для кукурузы на силос при выносе азота с принятым урожаем зеленой массы 500 ц/га (4 кг/т). Расчетом определяются:

- норма внесения ($м^3/га$) по выносу принятого питательного элемента – азота (кг/га) и его концентрации в навозе (%);
- содержание азота в норме внесения (кг/га);
- годовой объем поливной смеси $W_{п.с.}$ при содержании азота 0,15 %.

Таблица 3 – Объем поливной смеси в норме внесения

Table 3 – The volume of the irrigation mixture in the application rate

Удобрение (навоз)	Содержание азота, %	Норма внесения удобрений, $м^3/га$	Содержание азота в норме внесения, кг/га	Годовой объем $W_{п.с.}$ поливной смеси ($м^3/га$) при содержании азота 0,15 %	Разовый объем W_p при 15-кратном ($n = 15$) удобрительном поливе, $м^3/га$
КРС (влажность 90–92 %)	0,54	74,69	7,46	4973	331,5
Конский	0,59	68,36	6,83	4553	303,5
Овец	0,86	46,89	4,68	3120	208,0
Птичий	1,2	33,60	3,36	2240	149,3

Анализ данных таблицы 3 показывает величину годового и разового объема поливной смеси ($м^3/га$), по которому определяются гидравлические параметры системы ввода удобрений в зависимости от технологической схемы. Расчет проводится для возможного наличия удобрений, в данном случае для стоков КРС с минимальным по сравнению с другими стоками содержанием азота 0,54 %, по двум вариантам технологических схем: без использования смесителя, при вводе удобрений из накопителя непосредственно во всасывающий трубопровод (рисунок 1); с использованием смесителя, при вводе удобрений из накопителя во всасывающий патрубок смесителя (рисунок 2). При расчете гидравлических параметров [6, 7] системы ввода удобрений с непосредственным вводом во всасывающий трубопровод насосного агрегата процесс по конструктивному исполнению

прост, и основным недостатком подобного ввода является сложность учета параметров элементов системы, процесса регулирования и контроля вводимых питательных веществ. Рекомендуемая технологическая схема приведена на рисунке 1.

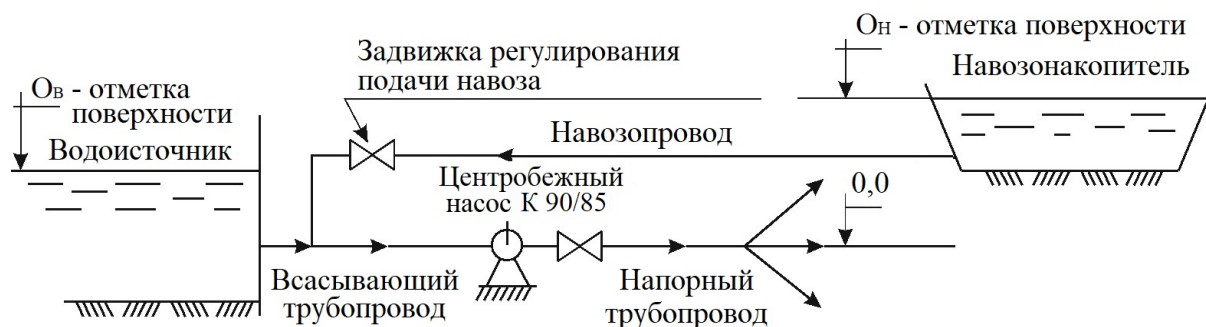
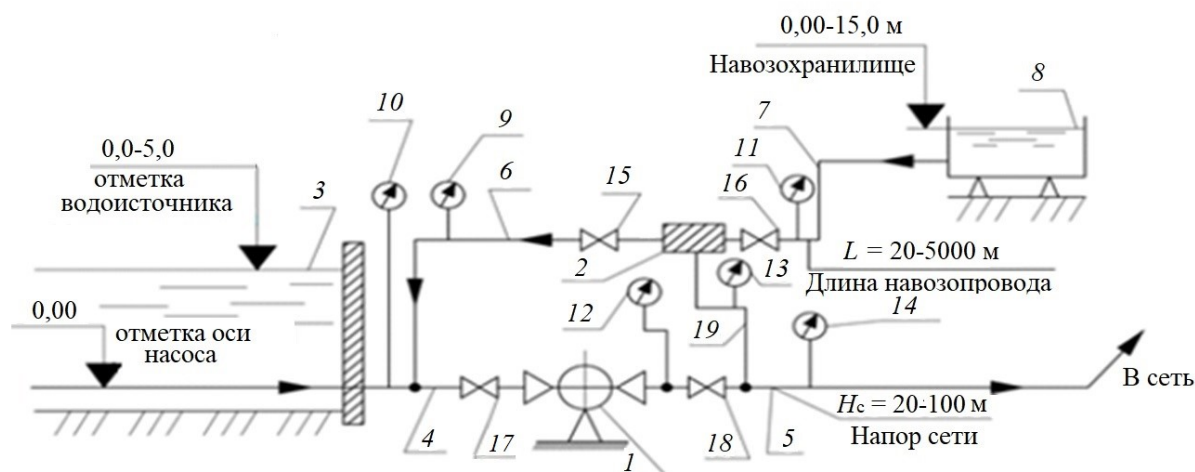


Рисунок 1 – Схема ввода животноводческих стоков во всасывающий трубопровод без смесителя

Figure 1 – Scheme of introducing livestock effluents into the suction pipe without mixer



1 – основной центробежный насос; 2 – струйный смеситель; 3 – водоисточник; 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; 15–18 – задвижки; 19 – трубопровод рабочего потока

1 – main centrifugal pump; 2 – jet mixer; 3 – water source; 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; 15–18 – valves; 19 – working flow pipeline

Рисунок 2 – Схема ввода животноводческих стоков во всасывающий трубопровод с использованием смесителя

Figure 2 – Scheme of introducing livestock effluents into the suction pipeline using a mixer

Расчет проводится по исходным данным, приведенным в таблице 4.

Таблица 4 – Исходные геометрические и гидравлические параметры для расчета системы ввода без смесителя

Table 4 – Initial geometric and hydraulic parameters for calculating the input system without a mixer

Наименование параметра	Единица измерения	Обозначение	Величина
Величина вакуума во всасывающем трубопроводе центробежного насоса при подаче 0,036 м ³ /с (насос принят К 90/85)	м	H_v	+1,0
Геометрический напор навозонакопителя (относительно оси насоса)	м	H_M	6,0
Длина навозопровода	м	L_H	1000
Высота всасывания центробежного насоса	Положительная		
Напор центробежного насоса	м	h_H	40,0
Подача центробежного насоса К 90/85	м ³ /с	Q_H	0,036
	м ³ /ч		129,6
Потери напора в навозопроводе	м	h_{wh}	(принимается) 4,0
Диаметр навозопровода (внутренний)	м	D_H	(принимается) 0,15

В качестве основного расчетного параметра принимается расход удобрений (навоз КРС влажностью 92–95 %) и время подачи.

Порядок расчета: по типу центробежного насоса К 90/85, условиям водозабора и геометрическому напору навозонакопителя H_M определяются напор H_H , подача Q_H и величина вакуума H_v во всасывающем трубопроводе насоса. Рассчитываются геометрические и гидравлические параметры системы ввода удобрений (таблица 5).

Из данных таблицы 5 видно, что в случае назначенного урожая культуры и установленного процентного содержания азота в удобрениях имеется возможность рассчитать необходимые гидравлические параметры всей системы непосредственного ввода удобрений во всасывающий трубопровод насосного агрегата и дальнейшей транспортировки смеси на орошаемый участок с регулированием подачи и содержания азота в смеси подвижной, установленной на навозопроводе (см. рисунок 1).

Таблица 5 – Расчетные гидравлические параметры системы ввода удобрений без струйного смесителя

Table 5 – Calculated hydraulic parameters of the fertilizer injection system without a jet mixer

Показатель	Обозначение	Единица измерения	Расчетная зависимость	Численная величина	Расчетные данные
Величина вакуума во всасывающем трубопроводе насоса	$H_{\text{в}}$	м	По напору $h_{\text{Н}} = 40$ м, подаче $Q_{\text{Н}} = 0,036 \text{ м}^3/\text{с}$ ($129,6 \text{ м}^3/\text{ч}$)	+1,0	Характеристика насоса К 90/85
Фактический геометрический напор (с учетом потерь напора в навозопроводе 4,0 м)	$H_{\text{Н}}$	м	Разность геометрического напора и потерь напора в навозопроводе	2,0	Разность геометрического напора $H_{\text{М}}$ и потерь напора в навозопроводе $h_{\text{вн}}$
Напор навозопровода в месте ввода во всасывающий трубопровод насоса	$H'_{\text{М}}$	м	$H'_{\text{М}} = H_{\text{Н}} - H_{\text{в}}$	1,0	$2,0 - (+1) = 1,0$
Скорость навоза в навозопроводе	$V_{\text{Н}}$	м/с	$V_{\text{Н}} = \varphi \sqrt{2gH'_{\text{М}}} = 0,5 \sqrt{19,62 \cdot 1,0}$, где φ – коэффициент скорости, принимаем равным 0,5	2,21	По принятой скорости навоза в навозопроводе $V_{\text{Н}} = 2,21 \text{ м/с}$ и диаметру $D_{\text{Н}} = 150 \text{ мм}$
Расход навоза в навозопроводе	$Q_{\text{в}}$	$\text{м}^3/\text{ч}$	$Q_{\text{в}} = 0,785 D_{\text{Н}}^2 \cdot V_{\text{Н}}$	$Q_{\text{в}} = 0,785 \cdot 0,15^2 \times 2,21 = 140,5$	
Коэффициент смешения навоза и воды в трубопроводе	$\alpha_{\text{Н}}$	–	$\alpha_{\text{Н}} = Q_{\text{Н}}/Q_{\text{в}}$	$\alpha_{\text{Н}} = 129,6/140,5 = 0,92$	Соотношение воды и навоза 0,92
Время подачи (суммарное)	$T_{\text{П}}$	ч	$W_{\text{П.С.}}/Q_{\text{в}}$	$T_{\text{П}} = \frac{4973}{140,5} = 35,39$	Расчет
Время подачи (разовое)	$T_{\text{П.Р.}}$	ч	$T_{\text{П.Р.}} = T_{\text{П}}/n$	$T_{\text{П.Р.}} = \frac{35,39}{15} = 2,35$	$n = 15$ (принятое количество удобрительных поливов)

При использовании вышепредложенной схемы необходимо наличие обязательных условий: положительная высота всасывания центробежного насоса; превышение отметки поверхности навозохранилища относительно оси насоса на суммарную величину потерь напора в навозопроводе и величины вакуума во всасывающем трубопроводе; согласование времени подачи смеси с агрономической службой при ее значительной величине; диаметр навозопровода рассчитан на минимальные потери напора при низких скоростях подачи навоза; эксплуатационные параметры центробежного насоса обеспечивают максимальную величину вакуума во всасывающем трубопроводе при рассчитанном необходимом напоре; соответствующая степень подготовки удобрений и оросительной сети в зависимости от величин проходных размеров выходных отверстий сети в случае отсутствия возможности разделения навоза на фракции; скорость входа удобрений из навозопровода во всасывающий трубопровод ниже скорости водяного потока на 10–15 %. Для исключения вышеперечисленных обязательных условий предлагается технологическая схема с использованием струйного смесителя и линии рециркуляции для подачи рабочего потока (рисунок 3), которые позволяют:

- увеличить транспортирующую способность удобрений благодаря созданию дополнительно вакуума смесителем в навозопроводе;
- вводить удобрения во всасывающий трубопровод центробежного насоса независимо от положительной или отрицательной высоты всасывания насосного агрегата;
- изменять концентрацию подаваемой смеси в широких пределах до ввода удобрений в трубопровод;
- проводить контроль подачи навоза манометром, установленным на напорном трубопроводе смесителя;
- создать условия для разделения навоза на фракции перед вводом в трубопровод.

В качестве струйного смесителя предлагается кольцевой двухпо-

верхностный смеситель с повышенными энергетическими характеристиками (рисунок 4) [8, 9].

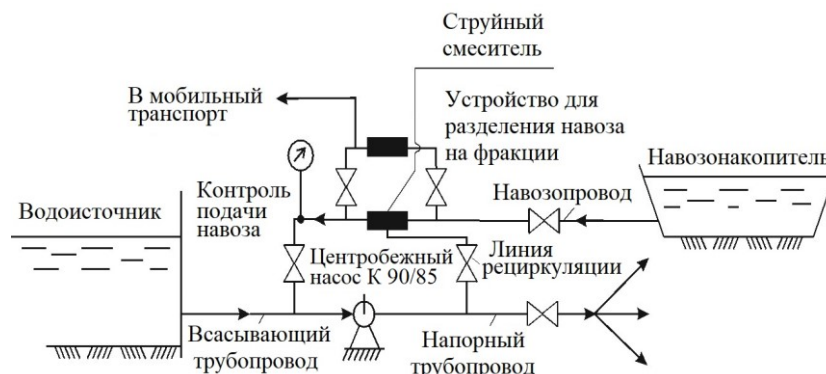


Рисунок 3 – Схема ввода животноводческих стоков во всасывающий трубопровод с использованием струйного смесителя, линии рециркуляции и аппарата для разделения навоза на фракции
Figure 3 – Scheme of introducing livestock effluents into the suction pipeline using a jet mixer, a recirculation line and an apparatus for separating manure into fractions

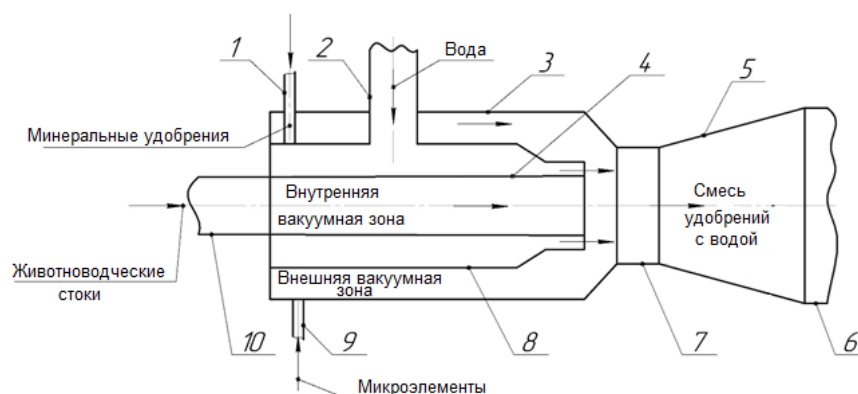


Рисунок 4 – Схема кольцевого двухповерхностного струйного смесителя
Figure 4 – Scheme of an annular two-surface jet mixer

1 – трубопровод для подачи минеральных удобрений; 2 – трубопровод линии рециркуляции; 3 – корпус смесителя (внешний); 4 – сопло внутреннее; 5 – диффузор; 6 – напорный трубопровод сети; 7 – смесительная камера; 8 – сопло наружное; 9 – трубопровод микроэлементов; 10 – трубопровод подачи навозных стоков
1 – pipeline for the mineral fertilizers supply; 2 – pipeline of the recirculation line; 3 – mixer body (external); 4 – internal nozzle; 5 – diffuser; 6 – pressure pipeline of the network; 7 – mixing chamber; 8 – outer nozzle; 9 – pipeline for microelements; 10 – pipeline for introducing livestock effluents

Рисунок 4 – Схема кольцевого двухповерхностного струйного смесителя
Figure 4 – Scheme of an annular two-surface jet mixer

Для расчета гидравлических параметров системы ввода удобрений с использованием струйного смесителя предлагаются необходимые исходные данные (таблица 6). Расчет приведен в таблице 7.

Таблица 6 – Исходные гидравлические параметры системы ввода удобрений с использованием смесителя

Table 6 – Initial hydraulic parameters of the fertilizer injection system using a mixer

Наименование параметра	Единица измерения	Обозначение	Величина
Высота всасывания центробежного насоса (наиболее сложные условия)	—	—	Отрицательная
Геометрический напор навозонакопителя (разность отметок навозонакопителя и водоисточника)	м	H_M	6,0
Напор водоисточника на входе водяного потока в центробежный насос (разность отметок водоисточника и оси насоса)	м	$H_{вх}$	+2,4
Напор центробежного насоса	м	h_H	40,0
Подача центробежного насоса	м ³ /с (м ³ /ч)	Q_H	0,036 (129,6)
Напор линии рециркуляции	м	H_p	0–40 (принимается по необходимости)
Напор струйного смесителя	м	H_c	0–15 (принимается по необходимости)
Вакуум во всасывающем трубопроводе смесителя	м	B_c	от 0 до –9 (рассчитывается в зависимости от значения H_p)
Диаметр навозопровода (внутренний)	м	D_H	0,15
Потери напора в навозопроводе (принимаются по длине навозопровода $L_H = 1000$ м)	м	h_{wh}	4,0

Основные величины многих исходных данных приняты по таблице 6 для дальнейшего сравнения необходимых эксплуатационных параметров.

В наиболее сложном варианте расчета с принятым ранее центробежным насосом К 90/85 высота всасывания изменена на отрицательную.

Результаты и обсуждение. Анализ полученных расчетных данных (таблица 7) показывает незначительные отличия от данных таблицы 5: по суммарному времени подачи 21,23 против 35,39 ч, по коэффициенту смешения 5,64 против 0,92, по расходу навоза 199,02 против 140,5 м³/ч, что указывает на возможность передачи части энергии от линии рециркуляции к струйному смесителю, способному изменять гидравлические параметры в системе ввода в необходимых эксплуатационных величинах.

Таблица 7 – Расчетные гидравлические параметры системы ввода удобрений с использованием струйного смесителя

Table 7 – Calculated hydraulic parameters of the fertilizer injection system using a jet mixer

Показатель	Обозначение	Единица измерения	Расчетная зависимость	Численное значение	Расчетные данные
1	2	3	4	5	6
Геометрический напор навозонакопителя перед смесителем с учетом потерь в навозопроводе	H_H	м	$H_H = H_M - h_{\text{вн}}$	$H_H = 6 - 4 = 2,0$	Исходные данные (таблица 6)
Скорость рабочего потока (воды) в сопле смесителя	V_0	м/с	$V_0 = \varphi \sqrt{2qH_p}$, где φ – коэффициент скорости, принимаем равным 0,5; H_p – напор в линии рециркуляции	$V_0 = 0,5 \cdot \sqrt{19,62 \cdot 40} = 14,0$	[10]
Скоростной напор в смесителе	$V_0^2/2g$	м	$V_0^2/2g$	$V_0^2/2g = \frac{14^2}{19,62} = 9,9$	[10]
Напор смесителя (относительный)	$\bar{H}_Г$	–	$\bar{H}_Г = \frac{H_Г}{V_0^2/2g}$	$\bar{H}_Г = 0,20$	[10]
Фактический напор смесителя	$H_Г$	м	$H_Г = \bar{H}_Г \cdot \frac{V_0^2}{2g}$	$H_Г = 0,20 \cdot 9,9 = 1,98$	Произведение относительного и скоростного напоров
Расход воды в смесителе от линии рециркуляции	Q_v	м³/ч (м³/с)	$Q_v = V_0 \cdot \omega_0$, где ω_0 – площадь поперечного сечения в сопле	$Q_v = 14,0 \cdot 0,0007 = 0,0098$ (35,28)	В зависимости от напора в линии рециркуляции, сечения сопла и скорости V_0 (сечение сопла 0,03 м, $H_p = 40$ м принимается)

Продолжение таблицы 7

Table 7 continued

1	2	3	4	5	6
Скорость потока в навозо-проводе	V_H	м/с	$V_H = \varphi \sqrt{2qH_H}$	$V_H = 0,5 \cdot \sqrt{19,62 \cdot 2,0} = 3,13$	Рассчитывается по напору в навозопроводе
Расход навоза в навозопроводе	Q'_H	м ³ /ч (м ³ /с)	$Q'_H = 0,785 \cdot D_H^2 \cdot V_H$	$Q'_H = 0,785 \cdot 0,15^2 \cdot 3,13 = 0,055$ (199,02)	Рассчитывается по диаметру навозопровода 0,15 м и скорости навоза в навозопроводе V_H
Суммарный расход навоза и воды	$Q'_H + Q_B$	м ³ /ч	$Q'_H + Q_B$	$Q'_H + Q_B = 199,02 + 35,28 = 234,3$	—
Коэффициент смешения навоза с водой	α_H	—	$\alpha_H = Q'_H / Q_B$	$\alpha_H = 199,02 / 35,28 = 5,64$	Рассчитывается отношение расхода навоза к расходу воды
Время подачи (суммарное)	T_{Π}	ч	$T_{\Pi} = \frac{W_{\text{п.с.}}}{Q'_H + Q_B}$	$T_{\Pi} = 4973 / 234,3 = 21,23$	Отношение необходимой суммарной подачи смеси к фактической подаче навоза и воды
Время разовой подачи при количестве поливов $n = 15$	$T_{\text{п.р.}}$	ч	$T_{\text{п.р.}} = \frac{T_{\Pi}}{15}$	$T_{\text{п.р.}} = \frac{21,23}{15} = 1,41$	Отношение суммарного времени к количеству поливов

Расчеты системы ввода [9, 10] с использованием струйного смесителя и струйного аппарата для разделения навоза на фракции в данном разделе не проводились вследствие отсутствия экспериментальных данных об объемных величинах разделенных фракций. При необходимости проведения расчета для других видов удобрений (навоза конского, овец, птичьего помета) порядок расчета остается прежним при измененной величине внесенного объема и проценте основного питательного элемента – азота [11, 12].

Выводы. Используя разработанные теоретические основы расчета системы ввода органических удобрений во всасывающие трубопроводы насосных станций при удобрительных поливах навозом КРС сельскохозяйственных культур, для предложенного варианта в качестве примера выращивания кукурузы на силос с урожаем 500 ц/га, исходя из состава элементов питания, определили норму годового внесения удобрений 4973 м³/га и разового 331,5 м³/га при 15-кратном удобрительном поливе. По исходным данным определены гидравлические параметры системы ввода удобрений без струйного смесителя: величина вакуума во всасывающем трубопроводе насоса 1 м; геометрический напор навозонакопителя 6 м; напор навозопровода в месте ввода во всасывающий трубопровод насоса 1 м; коэффициент смешения навоза и воды 0,92; время подачи суммарное (разовое) 35,39 ч (2,35 ч); скорость навоза и диаметр навозопровода соответственно 2,21 м/с и 150 мм. При использовании смесителя к вышеперечисленным параметрам прибавляются: относительный напор смесителя 0,20; скорость рабочего потока в сопле смесителя 14 м/с; напор в линии рециркуляции 0–40 м (в зависимости от необходимости); величина вакуума во всасывающем трубопроводе смесителя 0–9 м (в зависимости от относительного напора смесителя).

Приведенные исходные данные и методика расчета с примером расчета позволяют проводить как проектные, так и монтажные работы при необходимости осуществления удобрительных поливов животноводческими стоками.

Список источников

1. Барабаш В. М., Абиев Р. Ш., Кулов Н. Н. Обзор работ по теории и практике перемешивания // Теоретические основы химической технологии. 2018. Т. 52, № 4. С. 367–383. DOI: 10.1134/S0040357118040024.
2. Пустовалов Е. В. Влияние орошения животноводческими стоками на технологические качества маслосемян горчицы // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 2(50). С. 181–185.
3. Лихоманова М. А., Соловьева О. А. Влияние способов полива на эффективность возделывания овощных культур // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1(61). С. 161–173. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-16.
4. 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.
5. Справочник по овощеводству / В. И. Алексахин [и др.]; сост. В. А. Брызгалов. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1982. 511 с.
6. Tarigan A. B., Marheni, Ginting J. Application of fertilizer type and dosage toward brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stall.) attack level on several paddy (*Oryza sativa* L.) varieties // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 260. 012179. DOI: 10.1088/1755-1315/260/1/012179.
7. Кизяев Б. М., Исаева С. Д. К вопросу о сельскохозяйственном водоснабжении // Мелиорация и водное хозяйство. 2020. № 3. С. 17–22.
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. Пат. на полезную модель 188521 Российская Федерация, МПК F 04 F 5/10. Струйный трехкомпонентный насос-смеситель с промывкой всасывающих трубопроводов животноводческих стоков / Рудаков В. А., Дегтярева К. А., Уржумова Ю. С., Тарасьянц С. А.; заявитель и патентообладатель Дон. гос. аграр. ун-т. № 2018136477; заявл. 15.10.18; опубл. 16.04.19, Бюл. № 11. 5 с.
10. Справочник по гидравлическим расчетам / П. Г. Киселев [и др.]; под ред. П. Г. Киселева. М.: Энергия, 1984. 312 с.
11. Operator model to control process of obtaining vermicompost / E. V. Kuznetsov, A. E. Khadzhide, Y. A. Poltorak, M. Kuznetsova // Eurasian Journal of Biosciences. 2019. Vol. 13, iss. 1. P. 315–320.
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. Barabash V.M., Abiev R.Sh., Kulov N.N., 2018. *Obzor rabot po teorii i praktike peremeshivaniya* [Theory and practice of mixing: A review]. *Teoreticheskie osnovy khimicheskoy tekhnologii* [Theoretical Foundations of Chemical Engineering], vol. 52, no. 4, pp. 367-383, DOI: 10.1134/S0040357118040024. (In Russian).
2. Pustovalov E.V., 2018. *Vliyanie orosheniya zhivotnovodcheskimi stokami na tekhn-*

logicheskie kachestva maslosemyan gorchitsy [Influence of irrigation by livestocking straws on technological quality of mustard seeds]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of Lower Volga Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], no. 2(50), pp. 181–185. (In Russian).

3. Likhomanova M.A., Solovieva O.A., 2021. *Vliyanie sposobov poliva na effektivnost' vozdel'yvaniya ovoshchnykh kul'tur* [Influence of irrigation methods on efficiency of cultivation of vegetable crops]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proceedings of Lower Volga Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education], no. 1(61), pp. 161–173, DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-16. (In Russian).

4. 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 the issue of the importance of mineral fertilizers in the management of the production process and increasing their efficiency when using various machines and methods of application]. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of Belarusian State Agricultural Academy], no. 2, pp. 192–194. (In Russian).

5. Aleksashin V.I. [et al.], 1982. *Spravochnik po ovoshchevodstvu* [Handbook of Vegetable Growing]. 2nd ed., rev. and add., Leningrad, Kolos Publ. Leningrad Dep., 511 p. (In Russian).

6. Tarigan A.B., Marheni, Ginting J., 2019. Application of fertilizer type and dosage toward brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stall.) attack level on several paddy (*Oryza sativa* L.) varieties. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, vol. 260, 012179, DOI: 10.1088/1755-1315/260/1/012179.

7. Kizyaev B.M., Isaeva S.D., 2020. *K voprosu o sel'skokhozyaystvennom vodosnabzhenii* [On issue of agricultural water supply]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 3, pp. 17–22. (In Russian).

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

9. Rudakov V.A., Degtyareva K.A., Urzhumova Yu.S., Tarasyants S.A., 2019. *Struynnyy trekhkomponentnyy nasos-smesitel' s promyvkoj vsasyvayushchikh truboprovodov zhivotnovodcheskikh stokov* [Three-Component Jet Mixer Pump with Flushing of Suction Pipelines of Livestock Effluents]. Patent RF, no. 188521. (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. Kuznetsov E.V., Khadzhidi A.E., Poltorak Y.A., Kuznetsova M., 2019. Operator model to control process of obtaining vermicompost. Eurasian Journal of Biosciences, vol. 13, iss. 1, pp. 315–320.

12. Tarasyants S.A., Rudakov V.A., Urzhumova Y.S., Degtiareva 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

В. А. Рудаков – аспирант;

Д. В. Маклаков – аспирант;

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

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

Information about the authors

V. A. Rudakov – Postgraduate Student;

D. V. Maklakov – Postgraduate Student;

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

Yu. S. Urzhumova – Associate Professor of Land Reclamation Department, Candidate of Technical Sciences, Associate 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 16.08.2023.

The article was submitted 03.05.2023; approved after reviewing 08.08.2023; accepted for publication 16.08.2023.