

ВАКУУМИРОВАНИЕ ДРЕНАЖА НА ОСУШИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ

А. И. Митрахович¹, кандидат технических наук

И. Ч. Казьмирук², кандидат технических наук

¹РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

²Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

Аннотация. На основе обзора научно-технических источников рассмотрена сущность физических процессов фильтрации воды в почвогрунтах и водоприемной способности дрен в результате влияния вакуума. Приведены данные поисковых (лабораторных и полевых) исследований вакуумирования дрен на опытно-производственном участке в различных природных условиях. Установлена величина вакуума, обеспечивающая устойчивую работу элементов мелиоративной сети. Определены гидрологические условия (уровень грунтовых вод, тип грунта, положение горизонтального дренажа), влияющие на его стабильную работу при вакуумировании.

Ключевые слова: вакуумный дренаж, осушительно-увлажнительная система, подпочвенное увлажнение, сифонный водосбор, слабоводопроницаемые почвы, фильтрующая засыпка траншеи.

A. I. Mitrakhovich, I. Ch. Kazmiruk
VACUUMING OF DRAINAGE FOR DRAINAGE AND IRRIGATION SYSTEMS

Abstract. The essence of physical processes of water filtration in soils and the water-receiving capacity of drains under the influence of vacuum is provided on the basis of review of scientific and technical sources. Data from exploratory studies on drainage vacuuming is presented: laboratory and field studies at a pilot site under various environmental conditions. The vacuum value required to ensure the stable operation of drainage network components is determined. Hydrological conditions which affect its stable operation during vacuuming were determined: groundwater level, soil type, and horizontal drainage position.

Keywords: vacuum drainage, drainage and humidification system, subsurface humidification, siphon catchment, low-permeability soils, filter trench backfill.

Введение

Вакуумный дренаж – это эффективный метод снижения уровня грунтовых вод, который активно применяется в различных сферах: от гражданского строительства до сельского хозяйства. Данная инновационная технология основывается на создании вакуума в грунте, что позволяет значительно ускорить процесс осушения.

Основная часть

Вакуум представляет собой давление меньше атмосферного. Он может быть образован в среде, изолированной от атмосферного воздуха. За величину вакуума принимают разность между атмосферным и абсолютным давлением внутри разреженного пространства. Сущность вакуумирования грунтов состоит в том, что вакуум, образованный в дрене, передается на околососудную область грунта, в котором создается давление ниже атмосферного. Над дренажной вследствие оттока гра-

витационной воды образуется капиллярная зона, где также устанавливается вакуум. Вакуумирование грунтов интенсифицирует отвод воды из почвы в дренаж.

Применение вакуумирования горизонтальных дрен при осушении сельскохозяйственных земель определяется следующими условиями:

1) необходимостью быстрого отведения избыточных вод в весенний период для сокращения предпосевного периода; данный метод

позволяет интенсифицировать отвод влаги из грунтов тяжелого гранулометрического состава, что улучшает их аэрацию;

2) возможностью увеличения расстояний между дренами;

3) более гибким управлением влажностью почвенного профиля.

Как отмечалось, вакуумный дренаж широко апробировался в среднеазиатских республиках в условиях орошаемого земледелия: «При промывке засоленных почв требуется достаточно свободная емкость (объем пор в почве, который можно заполнить водой) для эффективного выщелачивания солей» [2, с. 55]. В Беларуси системы с вакуумным дренажем в промышленных масштабах не применялись, но поисковые полевые исследования в различных природных зонах проводились в течение 1970–80 гг. Так, вакуумирование осуществлялось сотрудниками Института мелиорации на участке вертикального дренажа Полесской опытно-мелиоративной станции (ПОМС, Лунинецкий р-н Брестской обл.). Там в 1980-х гг. под руководством А. И. Митраховича были построены системы вертикальных скважин с сифонным трубопроводом, соединявшим вертикальный и горизонтальный дренажи, в которых создавался вакуум [3, 4].

На системе вертикального дренажа ПОМС апробирована принципиально иная технология создания вакуума в горизонтальном дренаже с помощью сифонных трубопрово-

дов, соединявших дренажные скважины, с подключением дрен или коллекторов непосредственно к сифонному трубопроводу. Для проверки работоспособности предложенной технологии были проведены специальные полевые исследования на системе дренажа ПОМС.

Экспериментальная система состояла из сифонного водосбора, включавшего три дренажные скважины с сифонными трубопроводами, подключенными к горизонтальным дренам из полиэтиленовых перфорированных гофрированных труб длиной 45 м, диаметром 63 мм с круглой перфорацией и к гончарным дренам с внутренним диаметром 50 мм, которые были заложены на глубине 1 м (рис. 1). Дрены 2, 4 выводились на поверхность и подсоединялись к сифонному трубопроводу 1, проложенному по поверхности земли и соединявшему сифонным трубопроводом скважину 8 со скважиной 6. Для визуального наблюдения за движением воды и воздуха из дрен в их устье были смонтированы вставки из прозрачных труб. Расход дрен замерялся турбинным расходомером 3, величину вакуума регулировали вентилем 9, установленным на патрубке, соединявшем сифон с дренаей. Вакуум в дренае фиксировали ртутными вакууметрами 5, которые подключались к началу, середине и концу дрен. Зарядка сифона осуществлялась эжектирующим устройством 13.

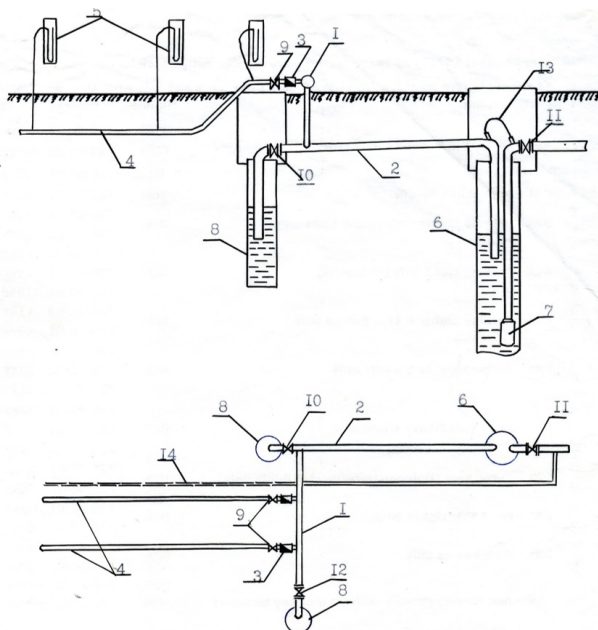


Рис. 1. Схема экспериментальной системы:

1 – сифон; 2, 4 – дренаи; 3 – расходомер; 5 – вакууметры; 6, 8 – дренажные скважины;
7 – погружной насос; 9, 10, 11, 12 – задвижки, вентили; 13 – зарядное устройство;
14 – увлажнительный трубопровод

До проведения экспериментов уровни грунтовых вод на системе наблюдались на глубине ниже дна дрена, поэтому перед включением сифонов и проведением всех замеров было произведено напорное нагнетание воды в дрена до полного насыщения грунта и появления воды на поверхности.

Затем в работу вводились сифоны; при этом для снижения влияния дренажной скважины в ней поддерживался динамический уровень воды в пределах 1,0–1,3 м. С помощью регулировки вентиля 9 в дрена создавали различную величину вакуума и одновременно измеряли расход по расходомеру. Данные экспериментов приводятся в табл. 1.

Максимальная величина вакуума в устье дрена составляла 2,2 м вод. ст. (M_1), в ее середине – от 0,26 до 0,45 (M_2) и в конце – от 0,16 до 0,38 м вод. ст. (M_3). На протяжении более двух часов дрена работала полным сечением без заметного колебания вакуума. Это объясняется тем, что при высокой влажности грунта засыпки атмосферный воздух не проникал в дрена и действие вакуума не срывалось. После понижения уровня воды в траншее ниже отметки дна дрена в нее начал поступать воздух, что вызвало резкое колебание вакуума, зафиксированное по показаниям манометра. Поступление воздуха из дрена в сифон привело к срыву в нем вакуума и его разрядке. Поддержание постоянного вакуума в сифоне возможно только при непрерывной работе эжектирующего устройства. Для обеспечения

устойчивой работы сифона необходимо, чтобы уровни грунтовых вод (УГВ) находились выше отметки верха дренажных труб.

Расход дрена длиной 45 м в режиме вакуумирования изменялся от 0,23 до 0,75 л/с (или 20–65 м³/сут). Скорость понижения уровня грунтовых вод в траншее на протяжении всего периода работы составляла около 0,4 м/ч. Поисковые опыты показали, что применение вакуумированного дренажа существенно ускоряет отвод грунтовых вод.

Исследователи, изучавшие в регионах Средней Азии эффективность вакуума в горизонтальном дренаже, также отмечали высокую скорость снижения грунтовых вод. Так, по данным Б. М. Дегтярева, средняя скорость их снижения на дрена вакуумного горизонтального дренажа была в 3–4 раза выше, чем на дрена обычного горизонтального дренажа [1]. Наиболее интенсивный спад УГВ происходил в непосредственной близости от дрена, в которой создавался вакуум.

Применение вакуумного дренажа на орошаемых землях Средней Азии на глубине 3 м и более послужило основой для разработки новых конструкций комбинированного дренажа. При испытании вакуумного дренажа на участках с тяжелосуглинистыми и супесчаными грунтами был получен весьма неожиданный результат: дренажный сток возрос почти в 2 раза при относительно незначительной величине вакуума (0,002 МПа) [1].

Таблица 1. Величина вакуума, расход и УГВ при работе вакуумных дрена

Интервал измерения, мин.	Вакуум, м вод. ст.			Расход Q , л/с	УГВ, м
	M_1	M_2	M_3		
Начальное	2	0,26	0,16		0,74
10	2	0,26	0,26	0,23	0,75
10	2	0,30	0,22	0,13	0,78
10	2,1	0,30	0,22	0,20	0,79
22	2,2	0,43	0,35	0,60	0,79
30	2,2	0,45	0,35	0,69	0,81
30	2,2	0,43	0,38	0,65	0,84
30	2,2	0,40	0,35	0,75	0,83
20	1,8	0,38	0,30	0,62	0,90

Примечания: M_1 , M_2 , M_3 – максимальная величина вакуума в начале, середине и в конце дрена.

В 1960–70-х гг. в Белорусском политехническом институте (БПИ) проводились обстоятельные лабораторные и полевые исследования по применению вакуумирования для осушения грунтов тяжелого гранулометрического состава [5]. Их цель заключалась в интенсификации работы горизонтального дренажа в условиях малой водоотдачи грунтов. Учитывалось, что даже при малых расстояниях между дренами (10–15 м) своевременный отвод избыточных вод не обеспечивается из-за недостаточной водопроницаемости пахотных и подпахотных горизонтов [6, 7, 8]. В гидротехнической лаборатории БПИ изучалось влияние вакуума на скорость отведения свободной гравитационной воды из суглинка. Опыты проводились в грунтовом лотке, заполненном суглинком. По результатам лабораторных экспериментов были построены графики зависимости уровня воды от времени. Несмотря на то что полученные данные не позволили сделать однозначный вывод о существенном влиянии вакуума на работоспособность дрена, данный опыт стал первым этапом в исследовании метода вакуумирования в Беларуси [5].

В 1972 г. в полевых условиях вакуумирование горизонтального дренажа на суглинистых грунтах выполнено на экспериментальном участке «Шарковщинский» в Витебской обл. (рис. 2). Там были построены системы вакуумного и безвакуумного горизонтального дренажа. Общая площадь участка составляла 7,2 га, из которых вакуумный коллектор обслуживал опытное поле в 4,84 га. Один из участков был отключен от дренажной сети и являлся контрольным бессточным участком. Дренажная сеть выполнена из перфорированных полиэтиленовых труб диаметром 40 мм. Вакуум создавался через оголовок вакуумированного дренажа, соединенный с вакуумным коллектором и вакуум-насосом [5].

Весной 1972 г. были проведены полевые исследования по изучению влияния вакуумирования на дренажный сток. Результаты экспериментов показали, что вакуумирование увеличивает дренажный сток в начальной стадии, когда все поры и трещины в грунте полностью заполнены водой, поскольку вакуум на отдаленной периферии от дрены создается в основном в этих порах и трещинах.

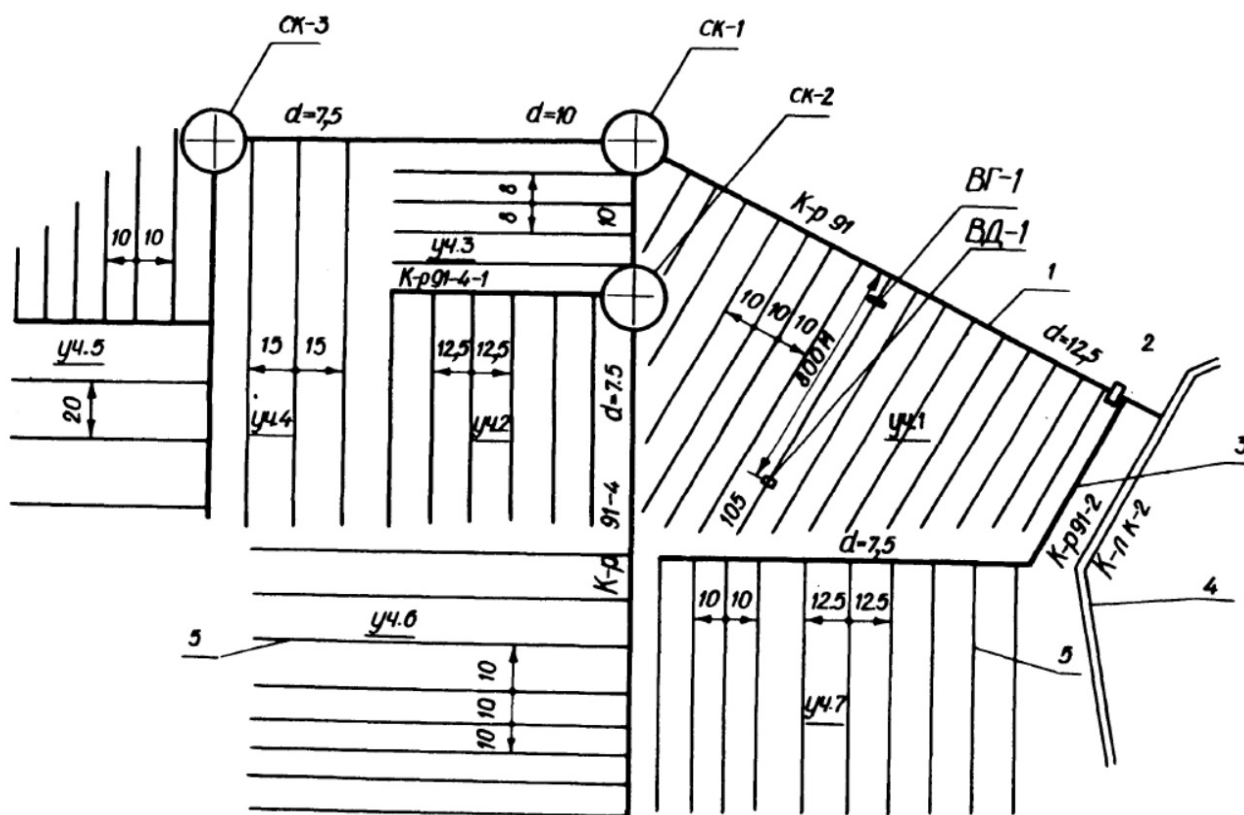


Рис. 2. План опытно-производственного участка вакуумированного дренажа в совхозе «Шарковщинский»:

- 1 – вакуумный коллектор; 2 – оголовок вакуумного коллектора; 3 – безвакуумный коллектор;
- 4 – водоприемник; 5 – дрена; СК-1, СК-2, СК-3 – смотровые колодцы; уч.1 – уч. 7 – номера участков;
- ВГ-1 – контрольное сечение для замеров вакуума в грунте;
- ВД-1 – контрольная точка для замеров вакуума в дрене [9]

Таблица 2. Сравнение характерных значений модулей стока на опытном участке «Шарковщина»
(апрель – май 1972 г.) [9]

Группа опыта (сеанс)	Номер сеанса	Дата	Время включения вакуума	Продолжительность, сеанса, час-мин	Модуль естественного стока перед сеансом, л / с · га	Модуль стока при вакуумировании, л / с · га		Относительное увеличение максимального модуля стока при вакуумировании
						максимальный	характерный	
I	I	14.04.1972	1305	0–25	0,103	0,183	0,138	1,78
	II	–	1640	1–00	0,103	0,151	–	1,49
		–				0,183	–	1,80
		–				0,275	–	2,70
		–				0,165	0,118	1,63
		–				0,183	–	1,80
	III	15.04.1972	1337	0–48	0,055	0,165	0,083	3,00
	IV	–	1605	0–50	0,052	0,103	0,072	2,00
	V	16.04.1972	0930	1–45	0,038	0,165	0,055	4,30
					через 1 ч 45 мин			
II	VI	–	1400	1–00	0,033	0,138	0,041	4,20
	VII	20.05.1972	1015	1–10	0,118	0,207	0,151	1,75
	VIII	–	1430	1–15	0,118	0,207	0,138	1,75
	IX	21.05.1972	935	1–55	0,087	0,165	0,103	1,90
					через 1 ч 20 мин			
III	X	–	1430	2–00	0,078	0,165	0,098	2,10
	XI	29.05.1972	1030	1–15	0,010	0,075	0,017	7,60
	XII	–	1510	2–05	0,009	0,055	0,025	6,40
	XIII	30.05.1972	1030	1–00	0,007	0,097	0,018	13,30

Установлено, что при освобождении от воды крупных пор и трещин эффективность вакуума в увеличении дренажного стока значительно снижается. Кроме того, распространение вакуума в грунте приводит к формированию трещин и крупных прососов, способствует росту трещиноватости грунта в сфере влияния. Зафиксировано, что вакуумирование дрен целесообразно для интенсификации работы горизонтального сельскохозяйственного дренажа в условиях малой водоотдачи грунтов. Опыты подтвердили принципиальную возможность создания и поддержания вакуума в дренажной системе на протяжении необходимого времени.

Было определено, что при любых значениях влажности почвы модуль дренажного стока тесно связан с величиной вакуума при неизменном режиме работы воздухоотборного оборудования. Он изменялся в зависимости от экранирующей способности грунта [9], обусловленной степенью и характером его увлажнения.

В табл. 2 приведено сравнение характеристик значений модулей стока на опытном участке «Шарковщина» (апрель – май 1972 г.). Причем во втором сеансе в качестве «максимального» отмечалось «каждое новое значение модуля, которое регистрируется в момент изменения режима вакуумирования; величина вакуума не останется постоянной, поэтому "характерный" модуль во втором сеансе не может быть замерен. Модуль к концу сеанса (0,165 л / с · га) возрос, так как вновь увеличили вакуум до 35 см вод. ст.» [9, с. 40–41].

Увеличение стока во время первых двух сеансов составило: по максимальным модулям – от 1,5 до 2,7 раза, по «характерным» – от 1,16 до 1,34 раза. Установлено, что вакуум 0,1 м вод. ст. вызывает увеличение модуля дренажного стока в среднем в 1,5 раза, а в условиях наибольшего влагонасыщения грун-

товой толщи в период весеннего снеготаяния вакуум 0,2 м вод. ст. увеличивает модуль дренажного стока в 4,3 раза по сравнению с безвакуумными системами горизонтального дренажа.

На протяжении всех экспериментов определялось распространение вакуума в грунте. Наблюдения за вакуумом проводились с целью установления области его распространения в поперечном сечении дрены и околодренной области, а также изучения характера изменения градиентов давления в грунтовом сечении в зависимости от условий опыта (степени увлажненности, режима вакуумирования). Измерения величины вакуума осуществлялись на протяжении всех сеансов вакуумирования по показаниям семи датчиков, размещенных вокруг дрены (в стороны и вверх) в радиусе до 35 см и соединенных с водяными вакуумметрами. Небольшой вакуум (0,1 м вод. ст.) вызывал повышение модуля стока до 0,165 л / с · га; через 15 мин. вакуум увеличили до 0,12 м вод. ст., модуль стока возрос до 0,207 л / с · га; через 40 мин. после начала сеанса вакуумирования модуль стока составил 0,151 л / с · га при вакууме 0,1 м вод. ст. – то есть в пределах седьмого сеанса модуль вакуумного стока почти не снизился (табл. 2).

Снижение влажности грунта уменьшало его экранирующую способность, что влияло на величину распространения вакуума. В результате проведенных экспериментов было установлено, что вакуум появляется в коллекторах, дренах и грунте при любых значениях влажности, но значения его тем меньше, чем ниже влажность [9].

Результаты исследований показали, что применение вакуумирования значительно увеличивает скорость снижения уровня грунтовых вод и повышает осушительную способность дренажа. УГВ после отключения вакуум-системы находятся ниже дна дрен.

Выводы

1. Вакуумный дренаж позволяет в более короткий срок удалить избыточную воду из грунта по сравнению с работой безвакуумной системы.

2. Получены сведения, доказывающие, что вакуум вокруг дрены на почвах тяжелого гранулометрического состава в условиях малой

водоотдачи распространяется почти до границы пахотного слоя при применении вакуумного дренажа и значительно увеличивает проницаемость дренажной засыпки.

3. На основе анализа данных полевых и лабораторных исследований установлена величина вакуума, обеспечивающая устойчивую

работу системы при постоянном затоплении дрены водой.

4. Вакуумирование горизонтального дренажа в полевых условиях увеличивает его

Благодарность. Данное исследование проводилось в рамках выполнения научно-исследовательской работы «Разработка энергоэффективных способов обеспечения оросительной техники водой из поверхностных и подземных источников водозаборных сооружений новых конструкций» при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор № T25MC-014).

удельный расход от 1,5 до 3 раз, существенно повышая скорость понижения уровня грунтовых вод.

Acknowledgements. This study was conducted as part of the research project «Development of energy-efficient methods for supplying irrigation equipment with water from surface and groundwater sources using newly designed water intake structures», with the financial support of the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research (Agreement No. T25MS-014).

Список использованных источников

1. Дегтярев, Б. М. Вакуумный дренаж на орошаемых землях / Б. М. Дегтярев, В. А. Калантаев. – М. : Колос, 1976. – 94 с.
2. Дегтярев, Б. М. О фильтрационных и капиллярных свойствах грунтов при вакуумировании / Б. М. Дегтярев // Инженерно-физический журнал. – 1962. – Т. 5, № 12. – С. 54–59.
3. Митрахович, А. И. Сифоны на системах вертикального дренажа / А. И. Митрахович, В. Н. Немиро // Мелиорация и вод. хоз-во. Серия 2. Экспресс-информация. Эксплуатация мелиоративных систем. – М. : ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1977. – Вып. 3. – С. 6–12.
4. Осушение земель вертикальным дренажем / А. И. Мурашко, А. И. Митрахович, С. В. Довнар [и др.]. – Мн. : Ураджай, 1980. – 240 с.
5. Минаев, И. В. Экспериментальная проверка работы горизонтального вакуумированного дренажа в полевых условиях / И. В. Минаев, А. Н. Майорчик, Т. П. Горезко // Мелиорация и водное хозяйство : научно-техническая информация Минводхоза БССР. – Мн., 1971. – № 10. – С. 11–13.
6. Калантаев, В. А. Дренаж орошаемых земель и методы его интенсификации / В. А. Калантаев. – Ашхабад : Ылым, 1984. – 282 с.
7. Кирейчева, Л. В. Дренажные системы на орошаемых землях. Прошлое, настоящее, будущее : монография / под ред. Н. М. Решеткиной. – М. : ВНИИГим, 1999. – 202 с.
8. Климко, А. И. Об использовании вакуума при осушении сельскохозяйственных земель / А. И. Климко // Гидротехника и мелиорация. – 1964. – № 12. – С. 39–43.
9. Горезко, Т. П. Исследование режимов вакуумирования горизонтальных дрен (по материалам полевых опытов в совхозе «Шарковщинский» Витебской области) / Т. П. Горезко // Водное хозяйство Белоруссии / К. И. Шимко (гл. ред.). – Мн. : Вышэйшая школа, 1975. – Вып. 5. – С. 37–51.

Поступила 18 мая 2026 г.