

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ И РАБОТЫ СИФОННЫХ ВОДОСБОРОВ НА СИСТЕМАХ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

**А. И. Митрахович<sup>1</sup>**, кандидат технических наук

**А. П. Майорчик<sup>2</sup>**, кандидат технических наук

<sup>1</sup>РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

### Аннотация

Описаны результаты изучения режимов работы сифонных водосборов на осушительно-оросительной системе вертикального дренажа в регионе Полесья в целях определения условий устойчивости их работы. Приведены параметры исследуемого водосбора и факторы, влияющие на его стабильную работу, особенно количество воздуха, поступающего в трубопровод. Установлены минимально допустимые скорости движения воды в сифоне, обеспечивающие его надежную работу без удаления воздуха. Определены зоны влияния сифонного водосбора на положение уровня грунтовых вод и контуры осушенной площади при работе линейно расположенных скважин. Сделаны выводы о возможности применения в современных условиях сифонных водосборов в качестве конструктивных элементов вертикального дренажа в определенных гидрогеологических условиях.

**Ключевые слова:** сифонный водосбор, вертикальный дренаж, скважина, вакуум, динамический уровень, уровень грунтовых вод.

### Abstract

**A. I. Mitrakhovich, A. P. Maiorchik**

### THE STUDY OF WORK OF SIPHON CATCHMENTS AND ITS CONSTRUCTIONS ON VERTICAL DRAINAGE SYSTEMS

The results of studying the operating modes of siphon catchments on the drainage and irrigation system of vertical drainage in the Polesie region in order to determine the conditions for the stability of their operation have been described. The parameters of the studied siphon catchments and the factors affecting its stable and stable operation, especially the amount of air entering the pipeline, are given. Minimum allowable water velocity in siphon is set to ensure its stable operation without air removal. The zones of influence of the siphon catchments on the position of the groundwater level and the contours of the drained area during the operation of linearly located wells were determined. Conclusions were made about the possibility of using siphon catchments in modern conditions as structural elements of vertical drainage in certain hydrogeological conditions.

**Keywords:** siphon catchment, vertical drainage, well, vacuum, dynamic level, groundwater level.

### Введение

Эффективность сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях во многом зависит от складывающегося в вегетационный период водного режима почв, особенно в экстремальных погодных условиях [1]. В такие периоды многие осушительно-увлажнительные системы практически не способны поддерживать требуемый водный режим путем обратного регулирования, поскольку в засушливые периоды в мелиоративных каналах не хватает воды для поддержания необходимого уровня грунтовых вод на сельхозугодьях.

### Результаты исследований и их обсуждение

Орошение в условиях Полесья может базироваться на использовании подземных вод из скважин вертикального дренажа. Действенность этого способа за время его эксплуатации

Подтверждением этому служит мелиоративная обстановка на объекте «Полесская опытная станция» в летний период 2022 г., когда большинство мелиоративных каналов оказались сухими, а уровни грунтовых вод находились на глубине 160–185 см. Река Бобрик, являющаяся водоприемником мелиоративной системы, в указанном году практически пересохла.

Одно из эффективных мероприятий по снижению негативного влияния засушливых периодов – орошение сельхозугодий на локальных участках.

в 1970–80 гг. в условиях Полесья установлена на опытно-производственных участках в центральном и юго-западном регионах Белорусского Полесья [2].

На основе вертикального дренажа можно проектировать эффективные осушительно-оросительные системы, при разработке которых предпочтительно исходить из упрощения их конструкций, снижения строительных и эксплуатационных затрат. Одним из возможных вариантов, соответствующих данным требованиям, является использование на вертикальном дренаже сифонных водосборов, которые широко применяются в гидротехнических сооружениях, водоснабжении и городском строительстве.

Термин «сифонный водосбор» издавна устоялся в научной литературе [2–4]. В состав данного устройства входят: вертикальная всасывающая труба, обеспечивающая забор воды из скважины; сифонный трубопровод (средняя ветвь); нисходящая вертикальная ветвь, которая входит в приемную дренажную скважину; зарядное устройство (вакуум-насос, эжектор и т. п.). В приемной скважине устанавливается погружной насос. Функционирование сифонного водосбора заключается в создании и поддержании определенной разности динамических уровней воды в скважинах, которая достигается в результате работы погружного насоса в дренажной скважине. Для приведения сифона в действие необходимо предварительно заполнить трубопровод водой либо путем отсасывания воздуха, либо заливкой сифона водой.

Особенно эффективным может быть использование сифонных водосборов при осушении городских территорий, где применение горизонтального дренажа или открытой сети весьма затруднительно из-за плотности застройки и подземных коммуникаций.

Условия устойчивого функционирования сифонов определялись в ходе многочисленных лабораторных и полевых исследований выше-названного периода. Режимы работы длительно действующих сифонов изучались в процессе эксплуатации системы вертикального дренажа Полесской опытно-мелиоративной станции. Сифонный водосбор представлял собой трубопровод переменного сечения с диаметром средней ветви 300 мм длиной 470 м, соединяющий три дренажные скважины.

Зарядка сифона проводилась эжектирующим устройством, разработанным в Белорусском НИИ мелиорации и водного хозяйства. Оно включало в себя два патрубка, которые соединялись гибким шлангом или трубой.

Один патрубок имел вентиль и устанавливался на водоподъемном трубопроводе погружного насоса перед задвижкой, второй – в самом колене трубопровода.

При работе погружного насоса часть воды поступала в патрубки и нисходящую ветвь сифона, где в результате повышенной скорости потока образовывался вакуум, за счет которого вода из приемной скважины поступала в сифонный трубопровод. Время зарядки сифона составляло 10–13 минут. Объем воздуха, удаляемого из сифона, рассчитывался из его содержания в 100 л воды (в среднем 2,5 л).

Опыты проводились весной, когда система функционировала в режиме осушения. Во время работы сифонного трубопровода измерялись: вакуум в нем, динамический уровень воды в дренажных скважинах № 1–3, их дебит. На сифоне устанавливался самописец вакуума, непрерывно контролировавший его величину записью данных на бумажную ленту.

Наблюдения за работой сифона в течение 7 суток показали, что в первые 24 часа величина вакуума в нем постепенно увеличивалась. В дальнейшем она стабилизировалась и в течение 6 суток колебалась в незначительных пределах (7,5–8,0 м водяного столба). Характер изменения вакуума во времени и его величина, расшифрованные с самописца, представлены на рис. 1, где приведена также величина понижения уровня воды в заборных скважинах № 2 и 3, которая на протяжении всей откачки оставалась практически постоянной и равнялась 5 м. Расход сифона при этом составлял 94–97 м<sup>3</sup>/ч. За 7 суток работы сифона никаких отрицательных явлений не наблюдалось, дополнительного отсасывания воздуха не требовалось. Воздух и газ, поступавшие в сифон, сбрасывались вместе с откачиваемой водой в приемную скважину. При устойчивой работе сифона фиксировалось меньшее поступление воздуха и газа в сифонный трубопровод и более интенсивный их сброс [5].

В некоторых случаях воздух из работавших сифонов отсасывался непрерывно, хотя, согласно теоретическим расчетам, при существовавших в них вакуумах его должно быть во много раз меньше. Это указывает на то, что в сифон через неплотности стыковых соединений поступает атмосферный воздух (до 25–50 % от объема выделяющегося воздуха) и его следует учитывать при расчетах [6].

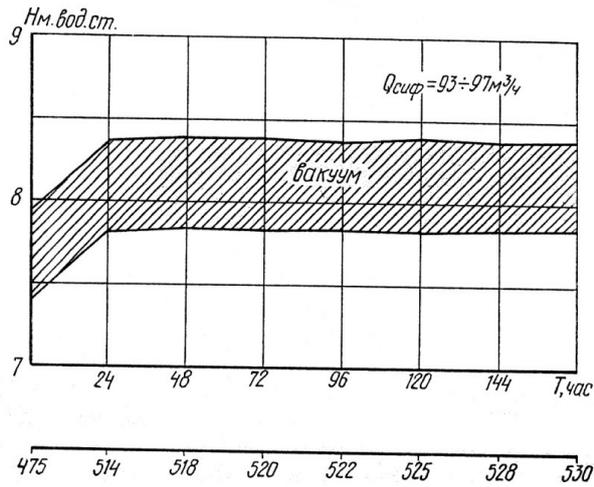


Рис. 1. Режим работы сифона

В целях уточнения влияния воздуха на режим работы сифона проводились лабораторные опыты на установке сифона длиной 30 м и диаметром 55 мм. Сифон имел водяной затвор (конец нисходящей ветви был погружен в воду) и вертикальные (нисходящая и восходящая) ветви.

Количество воздуха, поступавшего в сифон из атмосферы, определялось газовым счетчиком типа ГСБ-400, который предназначен для точных измерений малого количества газа. Счетчик присоединялся к сифону резиновой трубкой, на которой устанавливался зажим, с помощью которого регулировалось количество воздуха, подаваемого в сифон. Эксперименты проводились с постепенным увеличением объема воздуха, поступавшего в сифон, – от минимального до максимального, при котором сифон разряжался.

Были проведены две серии опытов: первая прошла при подключении счетчика на расстоянии 2 м от всасывающего колена; вторая – с пуском воздуха непосредственно в нисходящую ветвь. Опыты велись без отсасывания воздуха. Установлено, что при увеличении количества воздуха, пропускаемого в сифон, расход воды в нем и скорость ее движения уменьшаются.

График зависимости расхода воды от количества воздуха, поданного в сифон, при подключении счетчика в его разных местах представлен на рис. 2.

Опытами установлено, что при атмосферном давлении максимально допустимое количество воздуха составило 16,8 % от расхода воды для впуска воздуха в нисходящую ветвь

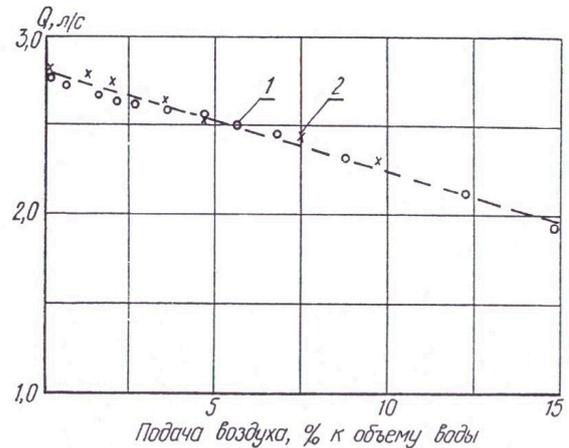


Рис. 2. Влияние воздуха на производительность сифона: 1 – счетчик на расстоянии двух метров от всасывающего колена; 2 – счетчик на нисходящем колене

сифона. Скорость движения воды в средней ветви при этом снизилась с 1,22 до 0,86 м/с, а расход уменьшился на 28 %. При подаче такого количества воздуха обе ветви сифона – и средняя, и нисходящая – работали полным сечением. Превышение подачи воздуха вышеуказанной величины ведет к неустойчивому режиму работы сифона: нисходящая ветвь сплошь заполняется водовоздушной массой, и при расходе воздуха 24 % от объема воды она начинает работать неполным сечением, что предшествует разрядке сифона.

Еще большее влияние на ухудшение работы сифона оказывает поступление в него воздуха со стороны всасывающей ветви. В этом случае опасным следует считать уже поступление воздуха в объеме 12 % от расхода воды. При этом скорость движения воды в сифоне составляет 0,9 м/с (77 % от первоначальной), расход уменьшается на 23 %. Хотя в диапазоне поступающего воздуха от 12 до 20 % сифон еще работает, режим его работы становится еще более неустойчивым. Поступающий воздух вызывает большую пульсацию вакуума. В сифоне наблюдается волновое движение жидкости, возникающее вследствие сжатия сечения потока воздухом. При объеме поступающего воздуха порядка 21 % от объема воды сифон начинает работать неполным сечением, при этом скорость движения воды и расход в нем уменьшаются почти в 2 раза.

Таким образом, установлено, что воздух, поступающий в сифон извне, значительно снижает его производительность и увеличивает минимально допустимые скорости движе-

ния в нем воды. Если при нормальных условиях работы сифона без отсасывания воздуха вполне допустимы скорости в средней ветви 0,4 м/с, то при поступлении воздуха значение минимальной скорости возрастает до 0,8 м/с. Следовательно, для стабильной работы сифонных трубопроводов при их укладке следует тщательно заделывать стыки и всасывающие узлы, обязательно проверять их на герметичность. Наиболее опасные участки сифона, снижающие его производительность от проникновения воздуха, – это всасывающие колена и участки, примыкающие к ним. В то же время эксперименты показали, что сифоны могут устойчиво работать даже при поступлении значительного количества воздуха извне, но при этом их производительность снижается.

Проведенные натурные и лабораторные опыты продемонстрировали, что сифонные водосборы длиной до 500 м могут устойчиво работать без отсасывания воздуха при скоростях движения воды в средней ветви более 0,5 м/с.

Осушительное действие вертикального дренажа с сифонным водосбором проверялось на работе системы, состоящей из линейного ряда скважин № 2 и 3, а также № 1, 6, 8 (рис. 3). Между скважинами № 1–2 и 1–8 расстояние 360 м. Моделировалась работа водозабора с сифонным водосбором в приемной скважине в центре системы (скважина № 1), где создавалось максимальное понижение. В скважинах № 2, 3 и 8 поддерживался одинаковый динамический уровень. Продолжительность откачки составляла трое суток. К концу третьих суток работы водосбора понижение в указанных скважинах достигало 5 м. Средний расход всей системы на протяжении всего периода работы водосбора составлял 270 м<sup>3</sup>/ч, и в это время на всей площади участка замерялось понижение уровня грунтовых вод в наблюдательных скважинах.

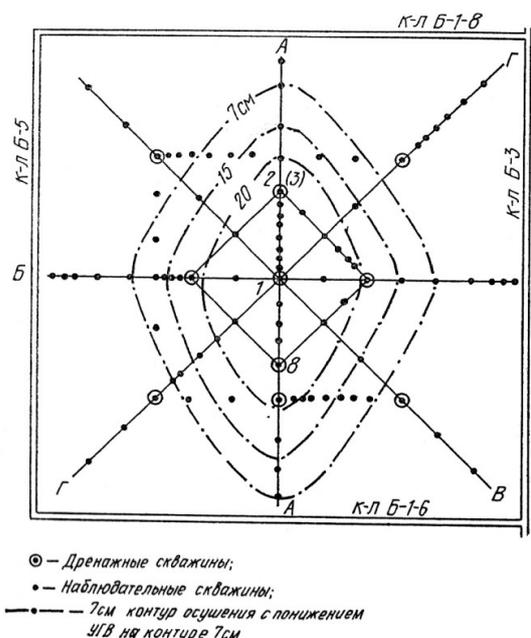


Рис. 3. Схема участка вертикального дренажа с контурами осушения скважинами № 1–3, 8

Как свидетельствуют результаты обработки откачки, площадь осушения с одинаковой величиной понижения уровня грунтовых вод (УГВ) при линейном ряде скважин оконтуривается по эллипсу. При этом площадь осушения с понижением на контуре 7 см составляла примерно 170 га, с понижением на контуре 15 см – 110 га, на контуре 20 см – 65 га.

Темпы снижения УГВ наиболее высокие в первые сутки откачки. В последующие дни они практически стабилизируются, что подтверждается и другими сериями откачек. Так, при величине расхода этой же системы 390 м<sup>3</sup>/ч понижение УГВ при радиусе влияния 500 м составило 4–5 см/сут, а при расходе 270 м<sup>3</sup>/ч – 2–3 см/сут. Интенсивность понижения УГВ значительно изменяется по площади, уменьшаясь по мере удаления от центра осушаемого участка. Средние значения этих понижений приведены в таблице.

Таблица. Интенсивность понижения УГВ в зависимости от радиуса действия скважин

Время снижения УГВ, сут	Понижение УГВ в зависимости от радиуса влияния, см			Расход системы, м <sup>3</sup> /ч
	140 м	380 м	500 м	
Первые	37	13	7	270
Вторые	10	4	3	
Третьи	7	3	2	

В сравнении с другими откачками интенсивность понижения УГВ линейным рядом скважин была несколько меньше. Так, при осушении участка четырьмя скважинами большого квадрата (расстояние между скважинами 1 км) с общим дебитом 560 м<sup>3</sup>/ч темп снижения уровня грунтовых вод в центре участка составлял в среднем 7 см/сут [5–8].

Проведенные опыты показали, что при работе линейного ряда взаимодействующих скважин со средним дебитом 90 м<sup>3</sup>/ч и понижении в них динамического уровня до 5 м на одну скважину приходится 45–50 га осушаемой территории. Зная темпы снижения УГВ при различных вариантах расположения скважин и зону их влияния, можно оперативно управлять уровнями грунтовых вод осушаемой территории, своевременно включая и отключая систему.

### Выводы

1. Проведенные исследования режимов работы сифонного водосбора с длиной средней ветви 360 м позволили определить условия их устойчивой работы.
2. Установлены минимально допустимые скорости воды в средней ветви сифона, обеспечивающие стабильную работу водосбора.
3. Доказано, что на устойчивую работу сифона влияет объем воздуха, поступающего в трубопровод извне.

Учитывая вышеизложенное и принимая во внимание, что в Советском Союзе вертикальный дренаж с сифонным водосбором был единственной системой на мелиоративных объектах, опыт его эксплуатации актуален и в современных условиях. Следует учитывать тенденцию чередования экстремальных засушливых и влажных периодов. Для сглаживания их негативного влияния на водный режим мелиорируемых земель и сельскохозяйственное производство необходимо заблаговременно разрабатывать мероприятия, обеспечивающие условия высокоинтенсивного земледелия. К таким мероприятиям можно отнести применение оросительно-увлажнительных и водооборотных систем на базе вертикального дренажа, способных рационально использовать водные ресурсы. В их конструкциях целесообразно применять сифонные водосборы как один из надежных и эффективных элементов.

4. Определены площади осушения и зона влияния сифонного водосбора на понижение УГВ при откачке из скважин.

5. При проектировании современных мелиоративных систем целесообразно применение сифонных водосборов в качестве конструктивных элементов вертикального дренажа.

### Библиографический список

1. Митрахович, А. И. О регулировании водного режима на осушенных землях с учетом экстремальных условий / А. И. Митрахович, Н. М. Авраменко // Мелиорация. – 2015. – № 2 (74). – С. 58–66.
2. Осушение земель вертикальным дренажем / А. И. Мурашко [и др.]. – Минск : Ураджай, 1980. – 244 с.
3. Мурашко, А. И. Сельскохозяйственный дренаж в гумидной зоне / А. И. Мурашко. – Москва : Колос, 1982. – 271 с.
4. Абрамов, С. К. Подземный дренаж в промышленном и городском строительстве / С. К. Абрамов. – Москва : Стройиздат, 1973. – 279 с.
5. Масловский, Е. А. Глубокий дренаж (опыт 25-летней эксплуатации вертикального дренажа с сифонным водоотводом) / Е. А. Масловский, С. К. Абрамов. – Москва : Стройиздат, 1964. – 130 с.
6. Ругалева, Н. А. Новые данные о действии сифонов / Н. А. Ругалева // Водоснабжение и санитар. техника. – 1958. – № 5. – С. 24–28.
7. Мурашко, А. И. Осушительно-увлажнительные системы на базе вертикального дренажа в Белорусском Полесье / А. И. Мурашко, П. Н. Костюкович, А. Т. Шпаков // Гидротехника и мелиорация. – 1975. – № 1. – С. 62–69.
8. Мурашко, А. И. Регулирование водного режима осушаемых площадей вертикальным дренажем и орошение подземными водами / А. И. Мурашко, П. Н. Костюкович, А. Т. Шпаков // Пробл. Полесья. – Вып. 4. – Минск : Наука и техника, 1975. – С. 133–151.

Поступила 3 ноября 2022 г.