

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СИФОННЫХ ВОДОСБОРОВ НА ВЕРТИКАЛЬНОМ ДРЕНАЖЕ

А. И. Митрахович¹, кандидат технических наук

А. П. Майорчик², кандидат технических наук

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

²Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь

Аннотация

Изложены результаты исследований одного из эффективных конструктивных решений вертикального дренажа с сифонными водосборами. Приведены условия их применения, дана конструкция различного вида сифонов и применяемых дренажных скважин. Установлены режимы работы сифонных водосборов, возможные объемы откачки воды из скважин и их радиусы влияния на уровни грунтовых вод. Дана экономическая оценка стоимости их строительства и эксплуатации.

Ключевые слова: сифонный водосбор, вертикальный дренаж, погружной насос, вакуум-насос, динамический уровень, расход скважин.

Abstract

A. I. Mitrakhovich, A. P. Maiorchik

SIPHON CATCHMENTS OPERABILITY ON VERTICAL DRAINAGE

The article presents the results of research on one of the effective design solutions for vertical drainage with siphon catchments. The conditions of their application are given, the design of various types of siphons and used drainage wells is given. Operation modes of siphon catchments, possible volumes of water pumping from wells and their radii of influence on groundwater levels are established. An economic estimate of the cost of their construction and operation was given.

Keywords: siphon catchment, vertical drainage, submersible pump, vacuum pump, dynamic level, flow rate of wells.

Введение

Погодно-климатические условия с высокой температурой воздуха и недостаточными осадками в летний период (особенно в 2020–2021 гг.) негативно отразились на формировании урожая различных культур как на мелиорированных, так и на богарных землях во многих районах Беларуси. Многие мелиоративные осушительно-увлажнительные системы в этот период оказались неспособны проводить увлажнение из-за нехватки или полного отсутствия воды в каналах.

С учетом возможности повторения подобных погодных условий в перспективе следует уделить особое внимание разработке новых конструктивных решений, которые бы повысили эффективность регулирования водного режима почв в экстремальных климатических условиях. При этом вовсе не исключается применение созданных ранее и апробированных элементов мелиоративных систем.

В 1970–80-х гг., когда «мелиорация была делом всенародным», проводились обширные исследования различных конструкций мелиоративных систем, в том числе совершенных осушительно-увлажнительных на базе вертикального дренажа с использованием подземных вод из скважин на орошение. Применение таких систем возможно лишь в определенных гидрогеологических условиях, аналогичных региону Полесья с неглубоким залеганием водоносного горизонта. Более чем двадцатилетний опыт эксплуатации систем вертикального дренажа на опытно-производственных участках площадью 1350 га показал их эффективность при регулировании водного режима почв путем осушения-орошения [1]. Существенным недостатком таких систем была более высокая стоимость по сравнению с открытой осушительной сетью. Это обуславливалось применением основных конструктивных элементов (трубчатые колодцы, насосные станции над скважиной и др.), взятых из проектов систем водоснабжения. Испытания

построенных систем позволили разработать мероприятия по снижению стоимости их строительства и эксплуатации. Проведенные расчеты

Основные результаты исследований

Сифонные водосборы представляют собой систему трубопроводов, соединяющих между собой дренажные скважины. В одной из скважин установлен погружной насос, который забирает воду из других скважин за счет создания в соединительных трубопроводах вакуума.

Таким образом, сифонные водосборы расширяют технические возможности вертикального дренажа. На практике они применялись в разных вариантах и в гидротехнических сооружениях, и в водоснабжении, в промышленном и городском строительстве [2, 3]. Есть данные и об опыте 25-летней эксплуатации вертикального дренажа с сифонным береговым водоотводом, построенным для защиты городской территории от подтопления подземными водами от существующего водохранилища [4]. В большинстве случаев это были довольно сложные дорогостоящие сооружения, поэтому для применения сифонов на мелиоративных системах вертикального дренажа были разработаны более упрощенные конструкции сифонов. Испытание их работоспособности и эффективности проводилось на участках опытно-производственной системе вертикального дренажа мелиоративного объекта Полесской опытной мелиоративной станции (ПОМС) в Лунинецком р-не Брестской обл. Это был осушенный участок, который представлял собой низинное болото с мелкозалежным торфяником глубиной 0,3–0,8 м, подстилаемым мощными водоносными песками со средним коэффициентом фильтрации 17,5 м/сут. и водопроницаемостью 570–700 м²/сут. На этой системе были построены три сифонных водосбора разной конструкции, схемы которых приведены на рис. 1–3.

Сифонный водосбор № 1 (рис. 1). В его состав входят: вертикальная всасывающая труба, обеспечивающая забор воды из скважины № 1 без насоса; сифонный трубопровод (средняя ветвь); нисходящая вертикальная труба в приемной скважине № 2; зарядное устройство (вакуумный насос, или эжектор). В приемной скважине установлен погружной насос ЭЦВ 12-255-30. Средняя ветвь сифона, соединяющая скважины № 1 и № 2 с расстоянием между ними 135 м, выполнена из стальных труб диаметром 150 мм. Длина восходящей

показали техническую возможность и экономическую целесообразность применения на вертикальном дренаже сифонных водосборов.

и нисходящей ветвей составляла 8 и 9,5 м соответственно. Средняя ветвь сифона уложена с уклоном 0,004 в сторону скважины № 2. На этом сифоне проводилось изучение режимов его работы при разных напорах и влияния длины нисходящей ветви на действие сифона. Одновременно определялась максимальная величина вакуума, которую можно создавать без применения зарядного устройства. Максимальный расход сифона составил 94 м³/сут., а наибольшее понижение динамического уровня в приемной скважине – 11,9 м.

Сифонный водосбор № 2 (рис. 2). Этот сифон соединяет три скважины (№ 1–3). Расстояние между скважинами № 1 и 2 – 365 м, между скважинами № 2 и 3 – 10 м. Скважина № 3 глубиной 36 м и диаметром 300 мм дублирует скважину № 2 глубиной 30 м и диаметром 350 мм. По конструкции сифон № 2 представляет собой трубопровод переменного сечения. Средняя ветвь выполнена из чугунных труб диаметром 300 мм и уложена с переменным по длине уклоном. Горизонтальные участки, соединяющие скважины с чугунным трубопроводом, выполнены из стальных труб диаметром 150 мм. Общая длина средней ветви сифона составляет 470 м. Скважина № 1 глубиной 47 м диаметром 300 мм, оборудованная погружным насосом ЭЦВ 12-255-30, является приемной. Нисходящая ветвь сифона выполнена из стальной трубы диаметром 150 мм длиной 10,5 м.

Сифонные водосборы были построены и на втором участке вертикального дренажа ПОМС (рис. 3) на площади 670 га. Система состояла из 19 дренажных скважин, расположенных относительно равномерно по площади. Пять приемных скважин (№ 1–5) были оборудованы погружными насосами и соединены с остальными скважинами сифонными трубопроводами. Длины сифонных трубопроводов между скважинами № 1–10, № 2–9, № 3–8 составляли 500 м, между скважинами № 1–19, № 2–17 и № 18, № 3–15 и № 16 – 700 м. Проектный уклон сифонов был в пределах 0,001–0,004. Сифоны выполнены из полиэтиленовых труб диаметром 150–200 мм. Удельные дебиты скважин на данных сифонных водосборах приведены в табл. 1.

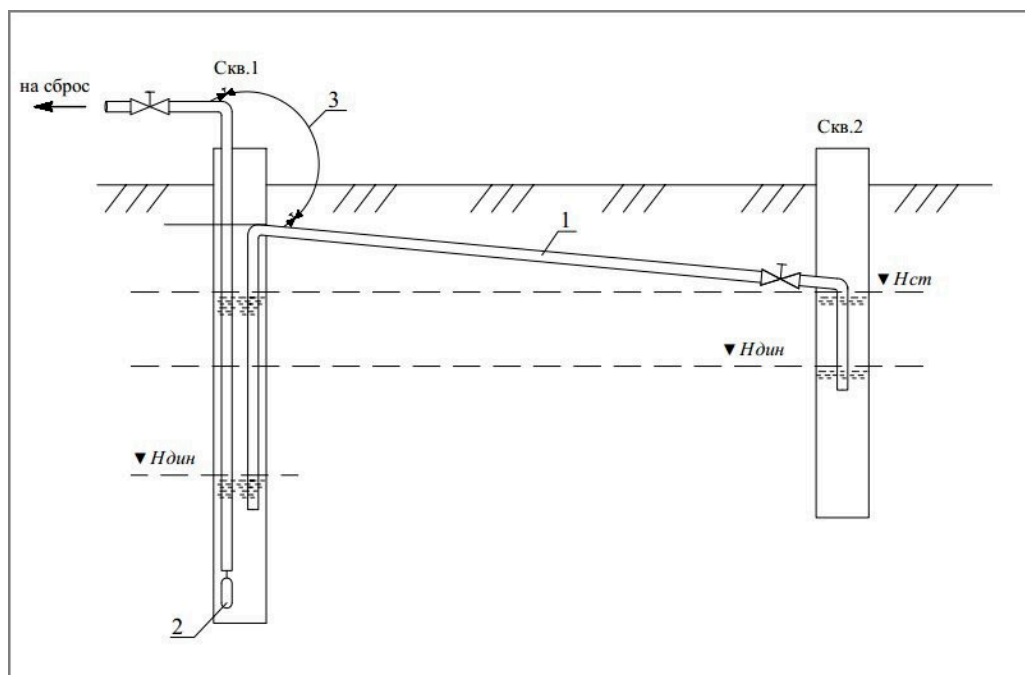


Рис. 1. Схема сифонного водосбора № 1:
1 – сифон; 2 – насос; 3 – зарядное устройство

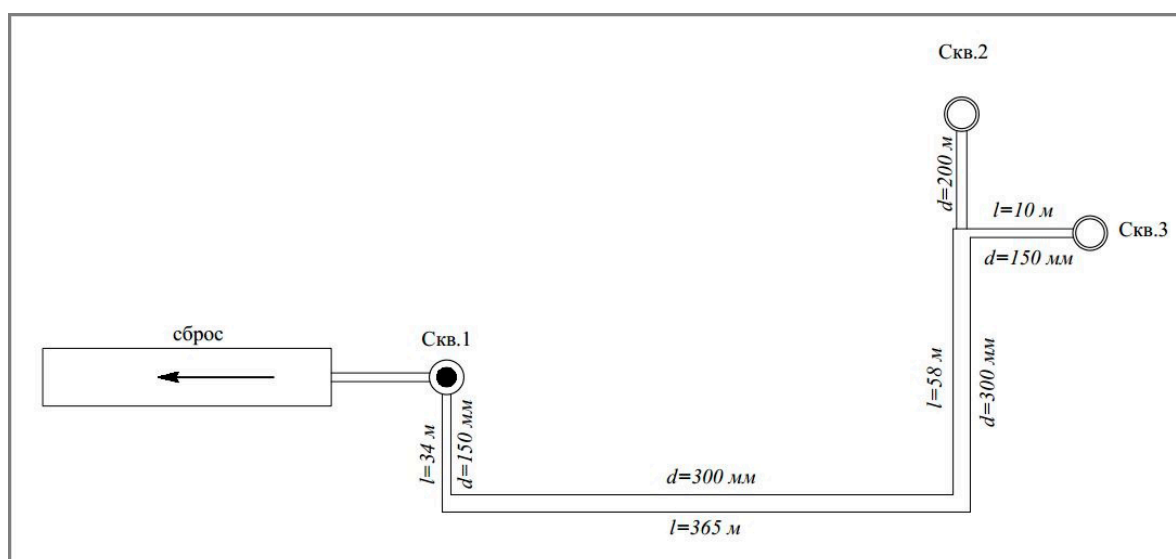


Рис. 2. Схема сифонного водосбора № 2

Таблица 1. Удельные дебиты скважин на данных сифонных водосборах

№ скважин	1	2	3	4	9	15	16	17	18	19	10
Уд. дебит м ³ /ч/м	50	35	40	4	10	9	4	3,5	5	6,5	7

Применение сифонов потребовало разработки новой конструкции приемных скважин. Для размещения трубопровода нисходящего колена сифона и водоподъемного трубопровода насоса верхняя часть скважины на глубину 16 м устраивалась из труб диаметром

630 мм, а диаметр фильтровой колонны был 426 мм. В качестве водоприемной поверхности фильтров применялись волокнисто-пористые полиэтиленовые пластины, изготовленные в БелНИИМиВХ.

Для приведения сифона в действие необходимо провести его зарядку, то есть предварительно удалить из трубопровода воздух и создать в нем разрежение, что достигается отсасыванием воздуха вакуум-насосами или непосредственной заливкой водой [5]. Зарядка сифонов на опытных участках проводилась эжектирующим устройством, разработанным нами и не требующим применения вакуум-насосов. Работа сифонов осуществлялась поддержанием определенной разности между динамическими уровнями воды в приемной и водозаборной (сифонной) скважинах.

Устройство сифонного водосбора особенно целесообразно в случае работы скважин на обеспечение подземной водой оросительной техники, когда дебита одной скважины недостаточно. Подключение к одной скважине с насосом одной или нескольких сифонных скважин может существенно увеличить расход и снизить затраты. Режим работы сифонов регулируется изменением динамического уровня в приемной скважине. Расход сифона изменялся в зависимости от понижения динамического уровня в приемной скважине № 1 при работе насоса с различным расходом. При понижении динамического уровня на 11,9 м максимальный расход сифона составил 94 м³/ч. В таком режиме сифон работал нормально, без срывов. Это подтверждается и данными других исследователей о том, что длина нисходящей ветви сифона может превышать 10 м [6, 7]. С другой стороны, не рекомендуется понижать динамический уровень в приемной скважине на более чем половину ее глубины [8].

Предельное превышение сифонного трубопровода над динамическим уровнем воды в заборной (сифонной) скважине (H), с учетом полных потерь напора (по длине трубопровода и в местных сопротивлениях) и создания требуемых скоростей, рекомендуется определять по зависимости:

$$H = 9,4 - \sum h_{\text{сифт}},$$

где $\sum h_{\text{сифт}}$ – потери в сифоне от места входа воды в крайней скважине до места выхода ее в приемной скважине;

9,4 – полученный опытным путем максимальный вакуум в сифоне при работе зарядного устройства. В среднем динамический уровень в заборной (сифонной) скважине можно понизить на 6 м. Исходя из этого рассчитывается и дебит сифонных скважин.

Сифонный водосбор № 2 длиной 470 м испытывался при работе двух и трех скважин. Максимальный расход при работе трех скважин составил 97 м³/ч, минимальный (при котором сифон функционировал еще нормально) был равен 27 м³/ч. При этом скорость воды в трубопроводе диаметром 300 мм составила 0,11 м/с, а в нисходящем колене – 0,40 м/с. В случае работы сифона только из скважины № 2 максимальный расход составил 68 м³/ч при понижении динамического уровня в приемной скважине 10,5 м, в сифонной – 5,5 м. Во всех опытах сифон работал без отсасывания воздуха, но с водяным затвором (нисходящая труба сифона постоянно была заглублена под уровень воды). Данные опыта приведены в табл. 2.

Таблица 2. Режимы работы сифона № 1 (ПОМС)

Вакуум, м. вод. ст	Динамическое понижение, м		Расход Q , м ³ /ч		Скорость V , м/с сифон	Напор H , м $H = S_1 - S_2$
	скв. № 1 S_1	скв. № 2 S_2	сифон	насос		
7,55	8,24	5,31	73	158	1,20	2,93
9,25	10,97	6,24	94	197	1,55	4,73
9,25	11,00	6,26	92	195	1,50	4,85
9,25	11,52	5,48	76	184	1,25	6,06
9,25	11,96	5,01	62	176	1,02	6,95

Устойчивость работы сифонов проверялась при непрерывном действии сифона № 2 в течение 1 и 7 суток с контролем вакуума самописцем. В течение всего времени сифон работал устойчиво. Основным условием такой работы является обеспечение скоростей движения воды в нисходящем колене не ниже 0,7 м/с при обязательном наличии водяного затвора.

При испытании сифонов изучалось осушительное действие вертикального дренажа в зоне действия приемной и сифонных скважин. Построенные по данным наблюдений за уровнем грунтовых вод при откачке кривые депрессии между скважинами № 1–2 сифонного водосбора № 1 имеют пологий характер, образовавшиеся вокруг скважин воронки депрессии невелики. Так, у скважины № 2 в радиусе 2 м УГВ опустился на 2 м от начального. У приемной скважины такое понижение наблюдалось в радиусе 12 м. Уровень грунтовых вод посередине между скважинами № 1–2 (расстояние между ними 365 м) за 6 часов работы трех скважин понизился на 0,3 м, за 24 часа – на 0,42 м. После выключения погружного насоса воронки депрессии исчезли за 1–2 часа и УГВ восстановился на всей площади участка. Влияние одной сифонной скважины № 2 за 24 часа работы с дебитом 67 м³/ч распространилось в радиусе 350 м.

При работе сифонного водосбора с двумя водозаборными скважинами (№ 2–3) и приемной скважиной № 1 и общем дебите 97 м³/ч радиус их влияния увеличился до 520 м со

скоростью понижения УГВ более 5 см за сутки. Неравномерности осушения участка за счет наличия воронок депрессии не наблюдалось.

Экономическая эффективность применения сифонных водосборов обуславливается снижением строительных и эксплуатационных затрат. Так, сифонный водосбор, состоящий из двух скважин, требует строительства лишь одной насосной станции над приемной скважиной и одной камеры из железобетонных колец для размещения оголовка скважины. Затраты на это значительно ниже, чем при оснащении насосным оборудованием двух скважин. Кроме того, за счет применения сифонной скважины существенно экономится электроэнергия. Если средняя продолжительность работы насосных станций на скважинах вертикального дренажа составляет 20 сут. в течение года, то при мощности погружного насоса 22 кВт годовой расход электроэнергии составит 10 560 кВт. Такую экономию даст каждая сифонная скважина. По результатам описанных исследований была разработана методика расчета сифонных водосборов.

Результаты опытов по применению сифонных водосборов позволяют констатировать, что их можно использовать на осушительно-оросительных системах вертикального дренажа. Такие системы способны обеспечивать оросительную технику подземными водами в условиях острого дефицита воды в каналах в засушливые периоды, особенно в регионе Полесья. Эффективным будет также их применение и в противопожарных целях.

Выводы

1. Установлена максимально допустимая величина вакуума при работе сифонного водосбора, определено предельное превышение сифонного трубопровода над динамическим уровнем в заборной скважине.

2. Определены режимы работы сифонов с минимально допустимыми скоростями воды в средней и нисходящей ветвях сифона без отсасывания воздуха.

3. Установлены конструктивные параметры сифонных водосборов, обеспечивающие их надежную работу по отбору воды из скважин.

4. Разработаны новые конструкции водоприемных скважин с переменным диаметром по глубине.

5. Установлены возможность и целесообразность использования сифонных водосборов на осушительно-оросительных системах вертикального дренажа в определенных гидрогеологических условиях.

Библиографический список

1. Осушение земель вертикальным дренажем / А. И. Мурашко [и др.]. – Минск : Ураджай, 1980. – 248 с.
2. Абрамов, С. К. Подземный дренаж в промышленном и городском строительстве / С. К. Абрамов. – М. : Стройиздат, 1973. – 279 с.
3. Оводов, В. С. Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение / В. С. Оводов. – М. : Колос, 1984. – 473 с.
4. Масловский, Е. А. Глубокий дренаж (опыт 25-летней эксплуатации вертикального дренажа с сифонным водоотводом) / Е. А. Масловский, С. К. Абрамов. – М. : Стройиздат, 1964. – 130 с.
5. Временные рекомендации по проектированию вертикального дренажа в Белорусском Полесье / А. И. Мурашко, А. И. Митрахович [и др.]. – Минск : [б. и.], 1978. – 76 с.
6. Ругалева, Н. Н. Новые данные о действии сифонов / Н. Н. Ругалева // Водоснабжение и санитарная техника. – 1958. – № 5. – С. 24–28.
7. Митрахович, А. И. Сифоны на системах вертикального дренажа / А. И. Митрахович, В. Н. Немиро // Мелиорация и вод. хоз-во. Сер. 2. Экспресс-информация. Эксплуатация мелиоративных систем. – М. : ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1977. – Вып. 3. – С. 6–12.
8. Бочеввер, Ф. М. Гидрогеологические расчеты крупных водозаборов подземных вод и водопонижительных установок / Ф. М. Бочеввер. – М. : Гос. изд-во литературы по стр-ву, 1963. – 57 с.

Поступила 12 августа 2021 г.