

## ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ДРЕНАЖ ПРИ СОЗДАНИИ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ С РАСПОЛОЖЕННЫМИ ПО ПЛОЩАДИ ВОДОЕМАМИ И СКВАЖИНАМИ

**В.А. НЕМИРО**

*Полесский государственный университет,  
г. Пинск, Республика Беларусь*

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в мире проходят значительные изменения климата. То за несколько дней выпадает месячная норма осадков, то на протяжении месяца сумма осадков совсем незначительна и растения страдают от засухи. Для компенсации этих явлений необходимы совершенные мелиоративные системы, способные оперативно регулировать водно-воздушный режим корнеобитаемого слоя почвы и приземного слоя воздуха. Такими являются системы вертикального дренажа.

Исследования, проведенные в Белорусском научно-исследовательском институте мелиорации и водного хозяйства в 70–80 гг. прошлого века показали большие возможности систем вертикального дренажа: интенсивность понижения уровней грунтовых вод (УГВ) достигает 10 см/сутки; всегда имеется гарантированный источник воды для проведения поливов дождеванием. Сдерживало внедрение и развитие систем вертикального дренажа отсутствие надежного технологического оборудования.

В то время промышленность СССР выпускала погружные насосы с минимальными напорами 30–45 м вод. ст., системы защиты насосов не выполняли своих функций, дождевальные установки обладали высокой металлоемкостью и малой надежностью. Но даже на таком оборудовании стоимость расходуемой электроэнергии на осушение одного гектара в весенний период не превышала 1 руб. (в ценах 1980 г.). Применение современных погружных насосов с напором 10–12 м вод. ст. позволяет в два-три раза уменьшить расходы электроэнергии на осушение.

Цель исследований – изучение систем вертикального дренажа при создании мелиоративных систем с расположенными по площади водоемами и скважинами.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По исследованиям Н. Медведева очень эффективно располагать равномерно по мелиорируемой территории резервуары влаги (водоемы) [1]. Это повышает влажность приземного слоя воздуха, увеличивает конденсацию в ночные часы на поверхности почвы атмосферной влаги, способствует аккумуляции в водоемах углекислого газа, увеличивает активность почвенных микроорганизмов и создает ряд других агрономических и экологических полезных эффектов. Площадь таких водоемов, по расчетам Н. Медведева, должна быть 35–40 м<sup>2</sup>/га.

При использовании низконапорных насосов на системах вертикального дренажа целесообразно применять сифонные водосборы. Возникает вопрос, как располагать заборные скважины по территории участка и выбирать оптимальных расстояний между насосной (центральной) и заборной (сифонной) скважинами.

По мнению С.В. Оводова [2, с.12], в однородном водоносном пласте на достаточно большом расстоянии от грунтового колодца форма гидроизогипс и размеры воронки депрессии не зависят от числа колодцев и их расположения, а определяются исключительно количеством воды, забираемым из водоносного пласта. Это справедливо при условии длительного формирования воронки. Но если на осушаемой территории существует выраженный микрорельеф, а процесс осушения кратковременный, то период переформирования депрессионных поверхностей может сказаться на качестве осушения. Поэтому при проектировании сифонных водосборов необходимо учитывать два требования: первое – расположение скважин производить исходя из условия получения максимального дебита, что необходимо для достижения высокой интенсивности осушения и обеспечения дождевальных установок водой; второе – водозаборные скважины необходимо располагать равномерно по площади, желательно в пониженных местах микрорельефа, что будет способствовать равномерности осушения территории.

Рассмотрим условия, при которых дебит сифонного водосбора будет максимальный. Как установлено, в сифоне может быть создан вакуум порядка 0,09 МПа [3, с.7]. Он расходуется на подъем воды из заборной скважины и преодоление гидравлических сопротивлений трубопровода сифона. Если расположить заборную скважину на небольшом расстоянии от приемной, то в точке расположения заборной скважины будут боль-

шие понижения уровней от действия приемной, и поэтому расход заборной скважины будет небольшой. Если же заборную скважину расположить за пределом радиуса влияния приемной скважины, то расход заборной скважины будет невысок вследствие больших потерь напора в трубопроводе сифона. В первом и во втором случае дебит сифонного водосбора не будет максимальным. Существует какое-то оптимальное расстояние между приемной и заборной скважинами, при котором влияние приемной скважины на заборную будет незначительно и гидравлические потери в трубопроводе сифона окажутся небольшие по сравнению с другим расположением скважин.

С некоторыми допущениями можно считать, что расстояние между приемной и заборной скважинами будет оптимальным, если выполняется условие:

$$S + h_{wr} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $S$  – понижение УГВ от действия приемной скважины в точке расположения заборной;  $h_{wr}$  – гидравлические потери в трубопроводе сифона длиной  $r$  м.

Понижение УГВ от действия приемной в точке расположения заборной скважины зависит от дебита и продолжительности работы приемной скважины и определяется по методикам, разработанным для неустановившегося и установившегося режимов фильтрации.

Рассмотрим случай притока воды к приемной скважине при неустановившемся режиме фильтрации. Уравнение неустановившегося режима, полученное Ч. Тейсом [4, с.107], для напорного потока имеет вид:

$$S = h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} \bar{W}(u), \quad (2)$$

где  $Q$  – дебит скважины, м<sup>3</sup>/сут;  $T = k \cdot h_0$  – проводимость пласта, м<sup>2</sup>/сут;  $k$  – коэффициент фильтрации, м/сут;  $h_0$  – начальный пьезометрический напор пласта, м;  $W(u)$  – интегральная функция скважины;  $h$  – пьезометрический напор пласта, м.

При малых значениях аргумента ( $u < 0,09$ ) выражение (2) имеет логарифмическое представление

$$S = h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2,25Tt}{\mu r^2}. \quad (3)$$

Уравнение неустановившегося режима для безнапорного потока имеет вид [4, с.108]:

$$\bar{S} = h_0^2 - h^2 = \frac{Q}{2\pi K} W(u). \quad (4)$$

При малых по сравнению с  $h_0$  понижениях  $S$  уравнения (2) и (4) совпадают. Действительно,

$$\bar{S} = h_0^2 - h^2 = S(S + 2h) = 2S\left(h + \frac{S}{2}\right) = 2Sh.$$

Членом  $\frac{S}{2}$  – малым по сравнению с  $h$  пренебрегаем и тогда решение (2) сводится к (4).

Режим фильтрации в безнапорном пласте, описанный уравнением (4), называется квазистационарным, а условие ( $u < 0,09$ ) определяет время наступления этого режима.

Гидравлические потери трубопровода длиной  $r$  определяется по формуле

$$h_{wr} = A_{кр} \bar{\Psi} Q_c^2 \cdot r, \quad (5)$$

где  $A_{кр}$  – значение расходной характеристики трубопровода [5];  $\bar{\Psi}$  – поправка на неквадратичность, [5];  $Q_c$  – расход сифона, м<sup>3</sup>/ч;  $r$  – длина сифона, м.

Если  $A_{кр} + Q_c^2$  заменить через  $A$ , то формула примет вид:

$$h_{wr} = A \cdot r$$

Напишем выражение (1) для неустановившегося режима фильтрации в развернутом виде:

$$\frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{2,25Tt}{\mu \cdot r^2} + A \cdot r \rightarrow \min. \quad (6)$$

Принимаем наименьшую продолжительность работы сифонного водосбора, равную одним суткам, т.е.

$t = \text{cong}t$ . Находим первую производную по  $r$  и, приравняв ее нулю, определяем значение  $r$ , при котором сумма (6) минимальна.

$$r = \frac{Q}{2\pi AT} \quad (7)$$

Находим вторую производную по  $r$  от выражения (6) и, определив ее значение в экстремальной точке, получаем положительную величину. Убеждаемся, что при  $z$ , определенном по выражению (7), выражение (6) имеет минимум.

Установившийся режим фильтрации является граничным режимом работы одиночной скважины. Понижение УГВ на расстояние от приемной скважины определяется по уравнению Дюпий [6, с. 267].

$$S = h_0 - h = h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{r}}, \quad (8)$$

где  $h_0$  – начальная глубина безнапорного потока, м;  $Q$  – дебит приемной скважины, м<sup>3</sup>/сут;  $K$  – коэффициент фильтрации, м/сут;  $R$  – радиус влияния приемной скважины, м;  $h$  – глубина безнапорного потока, м;  $r$  – расстояние от приемной скважины к искомой точке, м.

Напишем выражение (1) для установившегося режима фильтрации в развернутом виде:

$$h_0 - \sqrt{h_0^2 - \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{r}} + Ar \rightarrow \min. \quad (9)$$

Взяв первую производную по  $r$  и приравняв ее нулю, находим  $r$ , при котором сумма (9) минимальная.

$$r = \frac{Q}{2\pi AK \sqrt{h_0^2 - \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{r}}}. \quad (10)$$

Уравнение (10) относительно  $z$  записано в неявном виде. Решить его можно только подбором. Но если пренебречь членом  $\frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{z}$ , малым по сравнению с  $h_0^2$  и заменить выражение  $\sqrt{h_0^2 - \frac{Q}{\pi K} \ln \frac{R}{z}}$  выражением  $h_0$ , то уравнение (10) примет следующий вид:

$$r = \frac{Q}{2\pi AK h_0} = \frac{Q}{2\pi AT}. \quad (11)$$

Сравнивая выражения (7) и (11), полученные для различных режимов фильтрации, видим, что величина оптимального расстояния между заборной и приемной скважинами не зависит от продолжительности работы сифонного водосбора. С технико-экономической точки зрения вычисленное таким образом расстояние  $r$  является максимальным, так как дальнейшее увеличение  $r$  увеличивает стоимость водосбора и не увеличивает его дебита. Поэтому при выборе проектного расстояния и определения точки бурения заборных скважин с учетом рельефа местности можно рекомендовать некоторое уменьшение (до 30 %) расчетного расстояния.

Если линейный сифонный водосбор состоит из нескольких заборных скважин, то понижение УГВ в точке размещения второй заборной скважины от действия приемной в связи с ее отдаленностью, можно пренебречь. Сделав такое допущение, расстояние от первой заборной до второй (считая со стороны приемной скважины) можно определить по формуле (11), рассматривая первую заборную скважину в качестве приемной и т.д.

Приведенный метод определения оптимальных расстояний между скважинами сифонного водосбора основан на ряде допущений и является приближенным. Но из литературных источников нам неизвестны постановки и решения данного вопроса, поэтому и приближенный метод представляет определенный интерес.

Механический водоподъем вертикального дренажа позволяет водоемы, предлагаемые Н. Медведевым [1], наполнять дренажным стоком в весенний период во время осушительных откачек.

Учитывая, что рекомендуемая площадь водоемов должна быть более 35–40 м<sup>2</sup>/га, а во время весенней осушительной откачки с одного гектара в среднем откачивается около 300–400 м<sup>3</sup> воды [7, с. 219], глубина водоема будет составлять 7–10 м. Сооружать водоемы такой глубины конечно не целесообразно. Более разумно увеличить площадь водоемов до 50–60 м<sup>2</sup>/га, а глубину уменьшить до 2,5–3,5 м. Тогда в среднем на площади 10 га будет располагаться водоем в 500–600 м<sup>2</sup> (5–6 соток).

Такие водоемы позволяют аккумулировать до 60–70 % весеннего дренажного стока. Вокруг данных водоемов будет формироваться микроклимат и возникать эффекты, описанные Н. Медведевым. Грунт, вынутый при строительстве водоемов, целесообразно использовать для капитальной планировки.

Располагать по площади водоемы следует с учетом рельефа поверхности осушаемой территории в пониженных местах и вдоль сифонных трубопроводов. Тогда, установив на сифонных трубопроводах задвижки, можно использовать их для наполнения водоемов. В водоемах целесообразно предусмотреть инфильтрационные мероприятия полимерными материалами или созданием кальматирующего слоя грунта.

Так, например, на площади 50–70 га по водобалансовым расчетам и с учетом ранее проведенных опытов [7, с. 220] достаточно установить одну скважину с погружным насосом производительностью 200–250 м<sup>3</sup>/ч и напором 12 м вод. ст. Подключить к данной скважине для большей равномерности осушения 2–4 безнасосных (сифонных) скважины, расположить равномерно по территории 5–7 водоемов – получим водооборотную мелиоративную систему.

В весенний период, во время снеготаяния, в водоемы по мерзлomu грунту будет поступать поверхностный сток, что уменьшит объем весенней осушительной откачки.

В летний период водоемы будут создавать благоприятный микроклимат, а в экстремальных условиях всегда можно полить посевы современными дождевальными установками водой из скважин или водоемов.

По предварительным расчетам затраты электроэнергии на осушение и наполнение водоемов не превысят 3 тыс. бел. рублей на 1 га осушаемой территории.

Для определения затрат на орошение необходимо построить опытный участок и изучить, насколько эффективно влияют на влажность почвы водоемы и сколько необходимо дополнительных поливов с помощью дождевальных установок.

## ВЫВОДЫ

1. Для оперативного управления водным режимом осушаемых территорий целесообразно использовать системы вертикального дренажа с сифонными водозаборами и равномерно расположенными по площади водоемами.

2. Получена аналитическая зависимость для определения оптимальных расстояний между скважинами сифонного водосбора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Медведев, Н. Посевы просят влаги / Н. Медведев // Белорусская нива. – 4.03.2008. – С 5.
2. Оводов, В.С. Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение / В.С. Оводов. – М.: Колос, 1984. – 479 с.
3. Митрахович, А.И. О режимах работы сифонного водосбора в вертикальном дренаже / А.И. Митрахович, В.А. Немиро // Мелиорация и водное хозяйство – 1976. – № 12. – С. 6–9.
4. Шестаков, В.М. Динамика подземных вод / В.М. Шестаков. – М.: МГУ, 1973. – 327 с.
5. Справочник по гидравлическим расчетам / ред. П.Г. Киселев [и др.]. – М.: Энергия, 1974. – 308 с.
6. Климентов, П.П. Динамика подземных вод / П.П. Климентов, В.М. Кононов. – М.: Высшая школа, 1973. – 440 с.
7. Осушение земель вертикальным дренажем 0–79 / А.И. Мурашко [и др.]. – Минск: Ураджай, 1980. – 248 с.

## VERTICAL DRAINAGE IN THE CREATION OF WATER-TURNAROUND SYSTEMS WITH RESERVOIRS AND DRILLS LOCATED IN THE AREA

*V.A. NEMIRO*

### *Summary*

On the basis of full-scale experiments and literary data it is offered to create systems of vertical drainage with siphon catchment basins and reservoirs located in the area for an operative regulation of the water-air mode of the root layer of ground and a ground layer of air.

An analytical dependence for definition of the optimum distances between drills of a siphon reservoir has been obtained.

*Поступила в редакцию 14 мая 2008 г.*