

РАСЧЕТ ГОРИЗОНТОВ ВОДЫ В ОСУШИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ОТВОДА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД С ЗАМКНУТЫХ ПониЖЕНИЙ.

В.И. Бохонко

*Белорусский государственный экономический университет
Пинский филиал*

<http://edoc.bseu.by>

А.П. Русецкий

Полесский отдел пойменного луговодства БелНИИМЛ

Для отвода поверхностных вод в практике мелиорации земель широкое распространение получили дренажные фильтры, фильтры-поглотители и фильтрующие колонки. Эти элементы мелиоративной сети предусматриваются в проектах на замкнутых понижениях, обнаруженных по материалам изысканий, и осуществляются в период строительства. Однако часть понижений образуется на торфяных почвах в период использования мелиоративных земель в результате минерализации, уплотнения и выноса торфа с сельскохозяйственной продукцией [1,2,3]. Для их ликвидации применяют эксплуатационную планировку, но во многих случаях достичь требуемой выравненности рельефа не удастся. В периоды ливневых осадков в замкнутых понижениях скапливается поверхностный сток, который в вегетационный период требуется отвести в течении 0,5-1,0 сут. в зависимости от сельскохозяйственного использования угодий [4]. На мелиоративных землях при отсутствии специальных сооружений отвод поверхностного стока происходит путем инфильтрации его к грунтовым водам и испарения.

Процесс инфильтрации стока с замкнутых понижений в основе аналогичен фильтрации воды из каналов [5], при пополнении запасов подземных вод [6], при поверхностных поливах и промывках почв [7]. Имеющиеся решения основаны на использовании дифференциальных уравнений движения грунтовых вод для конкретных граничных и начальных условий. Они или отличаются от условий фильтрации воды в регулируемую сеть с замкнутых понижений, или имеют сложную структуру и для пользования ими требуются специальные таблицы или графики, затрудняющие применение их в практике эксплуатации мелиоративных систем.

Инфильтрация воды с поверхности почвы до уровня грунтовых, по исследованиям С.Ф.Аверьянова [5], протекает в условиях трех различных стадий, последовательно сменяющих одна другую. Все три стадии имеют место при глубоком расположении уровней грунтовых вод.

На осушительных системах Белорусского Полесья с торфяными и песчаными почвами к моменту образования поверхностных вод условия увлажненности области фильтрации и положение УГВ таковы, что продолжительность первой и второй стадии пренебрежимо мала. Без большой погрешности можно принять, что отвод поверхностных вод происходит в условиях фильтрации в третьей стадии. В этой стадии происходит подпертая фильтрация, в ней продолжительность отвода определенного объема зависит от положения уровней воды в осушителях относительно уровней поверхностных вод и может управляться откачкой насосными станциями через изменение уровней в проводящих каналах.

Рассмотрим задачу подпертой фильтрации воды с замкнутого понижения радиуса r_0 в каналы, удаленные от него расстоянием R_0 (рис.1). Всю область фильтрации разделим на две части: одну – расположенную под затопленной площадью замкнутого понижения, в пределах цилиндрической границы радиусом r_0 , вторую – от границы первой части до осушительных каналов, т.е. в пределах от r_0 до R_0 (рис.1). В первой части области фильтрации движение воды примем направленным сверху вниз вдоль оси Z с равномерным отбором, равным q на единице площади по поверхности границы. Во второй части области фильтрации движение воды примем радиальным относительно оси Z . Приведенная схематизация позволяет сложный процесс фильтрации разделить на два простых, протекающих последовательно.

Для первой части области фильтрации с учетом выше приведенной схематизации дифференциальное уравнение движения грунтовых вод имеет вид:

$$dH = \frac{2q}{r_0 K} (H_0 - Z) dZ \quad (1)$$

где: dH - элементарные потери напора на длине

q - удельный отбор расхода на единице поверхности по границе первой части области фильтрации;

r_0 - радиус границы затопления;

K - коэффициент фильтрации грунта;

H_0 - полный напор, т.е. расстояние от нижней границы области фильтрации до уровня воды в замкнутом понижении;

Z - текущая координата по направлению фильтрации в первой части области фильтрации.

Интегрирование уравнения (1) дает потери напора в первой части

области фильтрации:

$$H_{mp} = \frac{Q_0 H_0}{2\pi K r_0^2} \quad (2)$$

где: Q_0 – расход установившейся фильтрации с замкнутого понижения.

$$Q_2 = 2\pi r_0 H_0 \cdot q \quad (3)$$

На границе между первой и второй частями области фильтрации уровень грунтовых вод будет меньше полного напора на среднюю величину потерь напора:

$$H_1 = H_0 - 0,5 H_{mp} \quad (4)$$

где: H_1 – напор по границе между первой и второй частями области фильтрации (рис.1)

Во второй части области фильтрации распределение давления по вертикальным сечениям примем по закону гидростатики. Тогда задача движения воды в этом случае становится аналогичной фильтрации поглощительного колодца, для которого расход потока определяется формулой [8]:

$$Q_0 = \pi K \frac{H_1^2 - h_{ок}^2}{Ln \frac{R_0}{r_0}} \quad (5)$$

где: $h_{ок}$ – напор (уровень) в осушительном канале, т.е. расстояние от нижней границы области фильтрации до уровня воды в канале (рис. 1);

R_0 – радиус по внешней границе второй части области фильтрации.

Совместное решение уравнений (2), (4) и (5) позволяет определить необходимое положение уровня воды в канале $h_{ок}$ для отвода объема V поверхностных вод за требуемое время t .

Для условия $H_{тр} / H_0 \leq 0,2$ квадратом потерь напора в первой части области фильтрации можно пренебречь. Тогда из совместного решения уравнений (2), (4) и (5) можно получить формулу для определения требуемого уровня в канале в виде:

$$h_{ок} = \sqrt{H_0^2 - Ln \cdot \frac{R_0}{r_0} \cdot \frac{V}{\pi K t \theta}} \quad (6)$$

где: V – объем воды в замкнутом понижении;

t – требуемое время отвода поверхностных вод;

θ – поправочный коэффициент на потери напора под затопленной частью понижения;

$$V = Q_0 \cdot t; \quad (7)$$

$$\theta = \frac{1}{1 + \frac{H_0^2}{2 \cdot r_0^2 \cdot Ln \cdot \frac{R_0}{r_0}}} \quad (8)$$

Уравнение (6) может применяться для частных случаев, когда расположение замкнутого понижения относительно осушительных каналов позволяет прямоугольную в плане форму области и флотрации схематизировать в круговую с радиусом R_0 , а само понижение представить кругом радиусом r_0 . При замкнутых понижениях, имеющих вытянутую в плане форму и расположенных между осушителями, движение фильтрационного потока можно принять плоскопараллельными и направленным перпендикулярно открытым каналам (рис. 2). Область фильтрации, как и в предыдущем случае, разделим на две части: первую – под замкнутым понижением с направлением движения сверху вниз и равномерным отделением расхода по пути, вторую – от границ затопления до прилегающих каналов с горизонтальным направлением фильтрации.

Для первой части области фильтрации дифференциальное уравнение имеет вид:

$$\frac{dH}{dZ} = \frac{Q_0 - 2qZb}{Kab} \quad (9)$$

где: H – потери напора под затопленной частью области фильтрации;

Z – координата;

Q_0 – Полный расход фильтрационного потока;

q – Удельный расход, приходящийся на единицу поверхности по границе первой части области фильтрации;

a и b – Соответственно ширина и длина замкнутого понижения.

Интегрирование уравнения (9) и простые преобразования позволяют получить формулу для определения потерь напора в первой части области фильтрации на пути движения до водоупора:

$$H_{mp} = \frac{Q_0 H_0}{2Kab} \quad (10)$$

Для одностороннего потока второй части области фильтрации дифференциальное уравнение имеет вид:

$$-H \frac{dH}{dX} = \frac{Q_1}{bk} \quad (11)$$

где: H – напор фильтрационного потока на расстоянии X от оси замкнутого понижения (рис.2)

Q_1 – односторонний расход фильтрации.

Интегрирование уравнения (II) приводит к выражению:

$$\frac{Q_1}{bk} \left(X - \frac{a}{2} \right) = \frac{1}{2} (H_1^2 - H^2) \quad (12)$$

где: H_1 – напор на границе между первой и второй частями области фильтрации.

$$H_1 = H_0 - 0,5H_{mp} = H_0 - \frac{Q_0 H_0}{4Kab} \quad (13)$$

В сечении $X = L_1$, напор $H = h_{o.k.}$, тогда из уравнения (12) находим:

$$Q_1 = \frac{bk(H_1^2 - h_{o.k.}^2)}{2(L_1 - 0,5a)} \quad (14)$$

Аналогично можно получить, что расход фильтрационного потока со второй стороны замкнутого понижения к каналу равен:

$$Q_2 = \frac{bk(H_1^2 - h_{o.k.}^2)}{2(L_2 - 0,5a)} \quad (15)$$

где: Q_2 – расход потока на участке L_2 (рис.2).

Суммарный расход:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 = \frac{1}{2} bk(H_1^2 - h_{o.k.}^2) \cdot \frac{L - a}{(L_1 - 0,5a)(L_2 - 0,5a)} \quad (16)$$

Из уравнения (16) с учетом (13), а также заменяя расход через объем поверхностных вод и время отвода по (7), получается уравнение для определения напора в отводящем канале ($h_{o.k.}$) в виде:

$$h_{o.k.} = \sqrt{H_0^2 \left(1 - \frac{V}{4KabZ}\right)^2 - \frac{2V(L_1 - 0,5a) \cdot (L_2 - 0,5a)}{ibk \cdot (L - a)}} \quad (17)$$

Уравнения (6) и (17) могут быть использованы для корректировки горизонтов откачки на польдерах с механическим водоотводом при выпадении ливневых осадков и необходимости отвода поверхностных вод за требуемые сроки.

Начальный горизонт откачки по (9) определяется уравнением:

$$H_H = h_{o.k.} + (1 - \alpha')d - \Delta \quad (18)$$

где: H_H – начальный горизонт откачки в аванкамере насосной станции;

α' – коэффициент нелинейности;

d – амплитуда изменения уровня в аванкамере;

Δ – снижение горизонта в проводящих каналах от осушаемого участка до аванкамеры насосной станции.

Для оценки правомерности схемы фильтрации воды из замкнутого понижения, принятой при разработке теоретической модели отвода поверхностных вод в каналы, проведены лабораторные экспериментальные исследования фильтрации на физических моделях. Модели выполнены в гидравлическом лотке шириной – 0,7 м со стеклянными стенками из песка с коэффициентами фильтрации 4,5 и 6 м/сут. каждая модель представляет

усеченную пирамиду высотой 0,8 м с верхней плоскостью 0,7 x 3,6 м (рис.3). На поверхности пирамиды сделана выемка глубиной 0,1 м с размерами в плане 0,5 x 0,7 м.

Для фиксации координат линий токов внутри тела песчаной модели в дно выемки были заложены капсулы с красящим веществом. Первая капсула размещена по оси симметрии выемки, вторая – в 10 см от оси, третья – у стенки выемки (рис. 3). Отсчеты координат линий токов производились по сетке, нанесенной на стеклянную стенку лотка.

Во время опытов в выемку непрерывно подавалась вода для поддержания в ней постоянной глубины. При этом измерялся расход подаваемой воды, который был равен расходу фильтрационного потока.

На рис. 4 нанесены линии токов инфильтрации воды с поверхности выемки. Из точки 1, расположенной на оси выемки, линии токов направлялись вертикально вниз. Из точки 2, расположенной в 10 см от оси, линии токов направлялись вначале вертикально вниз, затем, по приближении ко дну лотка (водоупору), искривлялись в сторону оттока воды. На границе выемки (в точке 3) зафиксировано по красящему веществу сразу плавное искривление линий токов в сторону оттока воды. При этом линии красящего вещества были значительно больше размыты, чем в центральной части выемки. Это объясняется тем, что на границе раздела насыщенного грунта и зоны аэрации дополнительно оказывают влияние силы поверхностного натяжения.

Положение линий токов на физической модели подтверждает справедливость схематизации области фильтрации с разделением ее на две части, при которой под затопленной (первой частью) преобладает вертикальное движение воды с отделением расхода по пути, а за пределами затопленной части – горизонтальное направление.

Линии токов, выходящие из точки 3 (рис. 4) представляют кривые депрессии. Движение воды в области фильтрации модели относится к плоскопараллельному, для которого кривые депрессии можно рассчитать по уравнению (12). На рис. 4 нанесены кривые депрессии, вычисленные по этому уравнению для условий опытов, и опытные линии. Сравнение их между собой показывает, что вблизи границы затопления расхождения между ними достигают 20 %. Однако, уже на расстоянии более 0,2 а (а – ширина затопления) эти расхождения значительно уменьшаются и не превышают $\pm 5\%$ от мощности области фильтрации. Следовательно, полученные теоретические зависимости с достаточной для практики точностью могут применяться для определения положения уровня грунтовых вод на удаленных от затопления участках, в том числе и требуемого положения уровней в про-

дящих каналах.

Выводы

1. При образовании затопленных участков в результате поверхностного стока происходит подпертая фильтрация воды в регулируемую сеть. Продолжительность освобождения поверхности почвы при подпертой фильтрации зависит от положения уровней в осушителях относительно уровней поверхностных вод в замкнутых понижениях и может управляться откачкой воды насосными станциями через изменение горизонтов воды в проводящих каналах.

2. Расчет необходимого положения уровней в осушительных каналах для отвода поверхностных вод за требуемые сроки можно производить по зависимостям (6) и (17), а начального горизонта откачки в аванкамере насосной станции по уравнению (18).

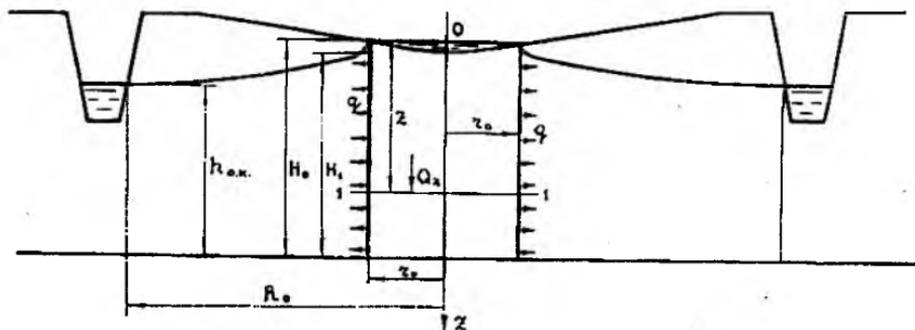
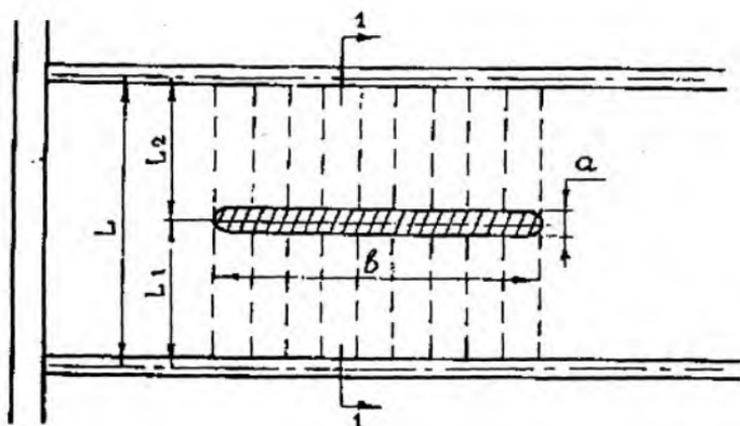


Рис. 1 Схема подпертой фильтрации поверхностных вод с замкнутого понижения.



сечение 1-1

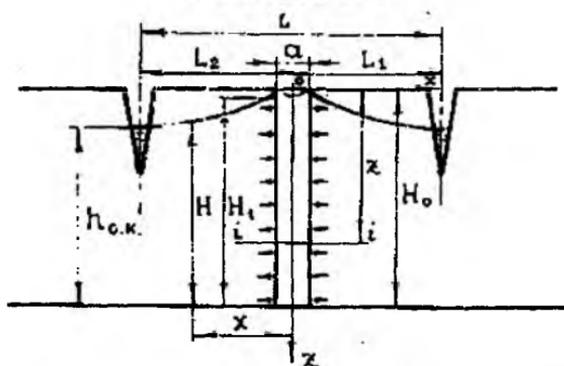


Рис. 2 Расчетная схема фильтрации воды с вытянутого вдоль осушителей замкнутого понижения.

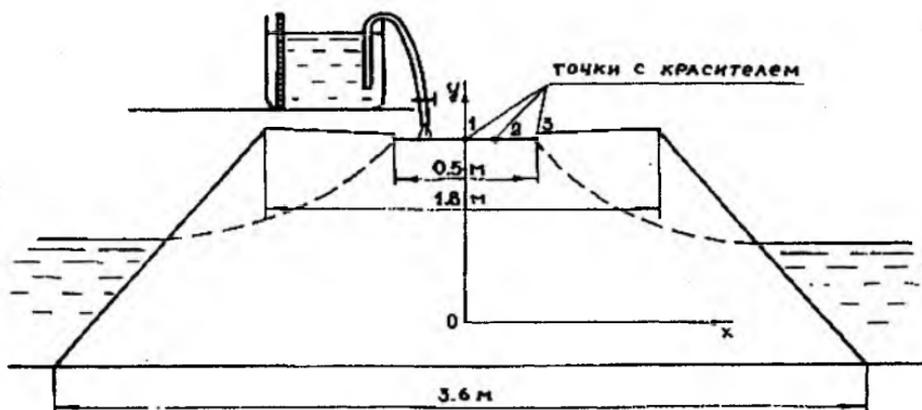


Рис. 3 Схема физической модели для изучения инфильтрации поверхностных вод.

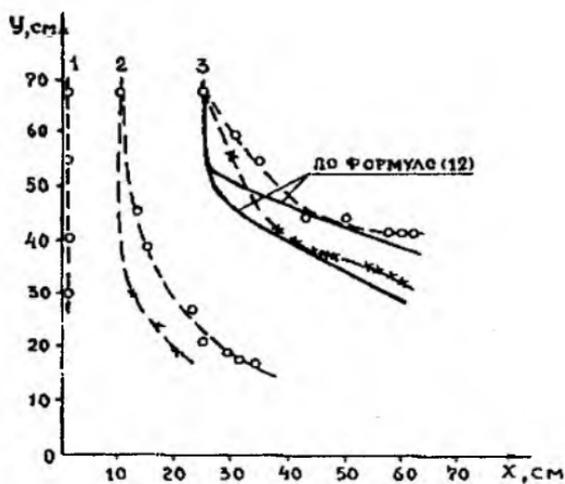


Рис. 4 Линии токов (пунктирные линии)

o - при $Q_0 = 0,138$ л/с, $\kappa = 4,5$ м/сут

x - при $Q_0 = 0,0211$ л/с, $\kappa = 6,0$ м/сут

Литература

1. Скоропанов С.Г., Барсуков А.И. Сельскохозяйственная наука – производству. – Минск. – 1986. – С.91-99.
2. Маслов Б.С., Минаев И.В. Мелиорация и охрана природы, - М.: Россельхозиздат. – 1985. – 272 с.
3. Мурашко А.И. Долговечность торфяников при осушении и сельскохозяйственном использовании. Охрана сельскохозяйственных угодий и окружающей среды. – Минск: Ураджай, 1984. – С. 210...220.
4. Мелиоративные системы и сооружения. СниП 2.06.03-85. – 1985. – 199 с.
5. Аверьянов С.Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. – М.: Колос, 1982. – 238 с.
6. Альтшуль А.Х., Устенко В.С., Чабан М.О. Регулирование запасов подземных вод. – Смоленск: Колос, 1977. – 240 с.
7. Васильев С.В., Веригин Н.Н., Глейзер Б.А., Рудаков В.К., Саркисян В.С., Шержуков Б.С. Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем. М.: Колос, 1970. – 440 с.
8. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. – М.: Энергия, 1972. – 312 с.
9. Бохонко В.И. Расчет эксплуатационных горизонтов откачки насосных станций польдерных систем. Мелиорация переувлажненных земель.: БелНИИМ и Л.- Т. XIII. – 1996. – с. 98-107.