

ную 1,3...1,4 расстояния между источниками. Особенно важен этот факт при моделировании. Для пласта большой мощности в расчетах следует учитывать только верхнюю, прилегающую к источникам зону мощностью 2,4 глубины источника.

При расчете в пластах с наклонными водоупорами углом наклона  $\alpha = 3^\circ$  ( $\operatorname{tg}\alpha = 0,05$ ) можно пренебречь с точностью 5%, при  $\alpha \leq 7^\circ$  ( $\operatorname{tg}\alpha \leq 0,12$ ) погрешность будет не более 10% и при определении притока к источнику в наклонном пласте, если  $\alpha \leq 18^\circ$  ( $\operatorname{tg}\alpha \leq 0,32$ ), пласт считают горизонтальным с погрешностью, не превышающей 20%.

Наличие в средней части пласта линз глины небольшой протяженности снижает расход потока на 5% при высоте линзы, равной 0,25 мощности пласта, на 10% -- при  $2R/m \leq 0,38$  и на 20% -- при  $2R/m \leq 0,52$ . Линза может быть как внутри, так и примыкать к горизонтальной границе пласта: оценки при этом остаются прежние. Линзы протяженные в плане дают относительно меньшие погрешности: 5% при длине линзы, равной 0,09 длины пласта; 10% -- при  $L_n = 0,21L$  и 20% -- при  $L_n = 0,61L$ .

Полученные результаты можно применять при фильтрационных расчетах горизонтальных и вертикальных водозаборов подземных вод, мелиоративных систем, строительного дренажа, осушения карьеров, каналов, водохранилищ, плотин, дамб и др.

#### Л и т е р а т у р а

1. Чабан М.О. Рекомендации по применению расчетных формул в практических фильтрационных расчетах. Минск, 1976.

УДК 628.862.1:533.5

Т.П. Горезко

#### О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ К ВАКУУМИРОВАННОЙ ДРЕНЕ В ТЯЖЕЛЫХ ГРУНТАХ

С целью изучения интенсификации водоотведения из почв тяжелого механического состава при вакуумировании дрен были проведены экспериментальные исследования работы вакуумированного дренажа в лабораторном лотке (с размерами  $h = 1,0$  м;  $b = 1,0$  м;  $l = 15$  м) и на опытно-полевом участ-

ке "Шарковщинский" Витебской области [1...4] \*. Для уточнения водно-физических свойств грунта проведены лабораторные опыты в малом лотке и в вертикальных колонках. Для загрузки лотков использована глина с опытного участка "Шарковщинский" и тяжелый суглинок из карьера кирпичного завода № 4.

На основании результатов экспериментов высказаны предварительные предложения о целесообразности прерывистого режима вакуумирования, продолжительности сеансов, величине вакуума в дренах [4].

Для дальнейшей разработки и технического совершенствования способа вакуумирования дренажа необходимо теоретическое обоснование и уточнение высказанных нами предложений. С этой целью проводился анализ экспериментальных данных для выяснения некоторых особенностей движения воды в тяжелых грунтах в условиях вакуумирования.

Различными исследователями высказаны гипотезы о характере воздействия вакуума на приток воды в дрене: наложение вакуума предложено расценивать как увеличение действующего напора  $H$  на величину, равную вакууму в дрене --  $h_{др}$  [5...9].

При этом рассматривались в основном легкие и средние по механическому составу грунты в условиях увлажнения их грунтовыми водами.

Условия проведения наших опытов существенно отличаются от других экспериментов как по водно-физическим свойствам грунтов, так и по характеру их увлажнения. Дальнейший анализ основывается на известных теоретических предпосылках, но с учетом специфических особенностей, присущих процессу осушения тяжелых грунтов в условиях атмосферного питания.

Как известно, процессу дренирования присуща фазность [10]. Условно выделяют три фазы: первая относится ко времени полного насыщения грунта влагой и характеризуется наибольшими скоростями стекания; во второй фазе влагосодержание и скорости стекания резко снижаются (движение жидкости в заполненных порах сменяется движением гравитационной пленки); третья фаза характеризуется крайне незначительными скоростями стекания и большой растянутостью во времени.

Действие вакуума на процесс дренирования грунтов неодинаково в различных фазах. Рассмотрим некоторые характерные моменты.

---

\* В проведении экспериментов принимали участие канд. техн. наук И. В. Минаев и В. Н. Майорчик.

Первая фаза -- стекание воды из грунта, полностью насыщенного влагой. Именно для таких условий Г.М. Мариупольским и позднее Г.А. Родионовым высказана гипотеза об увеличении при вакуумировании действующего напора  $H$  [8,9]. На основании этого предложено оценивать количественно влияние вакуумирования как дополнительное заглубление дрены на величину, равную вакууму в дрене ( $h_{др}$ ).

В.А. Калантаевым высказано мнение, что увеличением действующего напора  $H$  влияние вакуума на величину расхода не исчерпывается [7]. Наши эксперименты в лотке подтвердили наличие угла  $\alpha$  между линиями  $Q = f(H)$  и  $Q_{\text{вак}} = f_1(H)$  на графике расходов (рис. 1), что свидетельствует об изменении под действием вакуума не только величины напора  $H$ , но и некоторых других характеристик, влияющих на величину расхода. Следует принять во внимание особенности фильтрации воды в глинах, обусловленные реологическими свойствами жидкости и геометрией порового пространства [11,12].

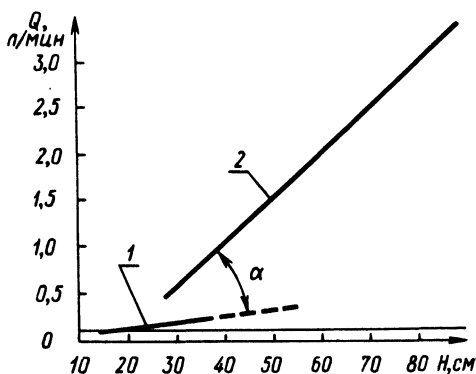


Рис. 1. Изменение расходов дрены в зависимости от напора: 1 — без вакуума; 2 — при вакуумировании.

В глинах существует начальный градиент  $I_0$ , при котором возникает фильтрация воды через грунт. С начальным градиентом связано понятие "активная пористость" системы  $m$ , отвечающая относительному объему подвижной влаги. Исследования реологических свойств воды методом напорной фильтрации показало [11], что активная пористость грунта  $m$  зависит от величины градиента давления.

Установлено [13], что с увеличением действующего напора  $H$  уменьшается начальный градиент  $I_0$  вследствие возрастания скоростей фильтрации. Поэтому можно считать, что вакуумирование не только снимает остаточный напор, но и уменьшает величину начального градиента  $I_0$ , так как  $I_0 = f(H)$ .

Вторая фаза — стекание при неполном насыщении. Кроме свободной гравитационной и малоподвижной рыхлосвязанной влаги, в тяжелых грунтах присутствует некоторое количество стыковой капиллярно-подвешенной и сорбционно-замкнутой влаги [14]. Часть влаги в перечисленных формах удаляется за счет возникающей при вакуумировании разности давлений с двух сторон рассматриваемого элемента влаги — капиллярно-подвешенного или сорбционно-замкнутого.

При исследовании процесса дренирования грунта, неполностью насыщенного влагой, возникает необходимость оценивать изменение влажности грунта в процессе его осушения. Достоверных методов, позволяющих вести ненарушающий контроль влажности в тяжелых грунтах в широком диапазоне значений, в настоящее время нет. Рассмотрение теоретических предположений, положенных в основу современных методик исследования водно-физических свойств грунта (принцип капиллярметра), позволяет предположить, что распределение отрицательных давлений в грунте при вакуумировании дает представление о распределении влажности в грунте.

В [11, 12] рассмотрены условия равновесия пленочной и стыковой влаги в трехфазной системе "почва-вода-воздух". Обозначив давление в жидкости через  $p$ , давление в газовой среде через  $p_r$ , С.В. Нерпин [11] выражает потенциал влажности (капиллярный потенциал) так:  $\psi = \frac{p - p_r}{\rho}$ . Заметим, что вследствие зависимости от давления газовой фазы потенциал влажности определенной точки системы увеличивается с уменьшением  $p_r$ . С другой стороны известно [11], что перепад давления на границе двух фаз выражается двумя составляющими:

$$\Delta p = \Delta p_r + \Delta p_H,$$

где  $\Delta p_r$  — перепад давления при переходе от газовой фазы к жидкости через криволинейную поверхность раздела газ — жидкость;  $\Delta p_H$  — перепад давления при переходе от газовой фазы к жидкости в тонком слое при плоской поверхности раздела.

Поскольку перепад  $\Delta p_r$  зависит от положения точки над уровнем свободной поверхности  $H$  [11]

$$\Delta p_r = - \rho g H,$$

можно предположить, что при вакуумировании перепад  $\Delta p_r$  увеличится, так как действие вакуума аналогично увеличению  $\Pi$  [5,8,9].

По условию равновесия влаги на стыке пленки и мениска [11] с увеличением  $\Delta p_r$  увеличится  $\Delta p_n$ , являющийся функцией толщины пленки. Следовательно, при вакуумировании возрастает  $\Delta p$ , а так как  $\Delta p = p - p_r$ , то при вакуумировании увеличится потенциал влажности  $\psi$ .

Таким образом, вакуумирование оказывает влияние на все перечисленные виды влаги в грунте, и принцип капилляриметра — "определенному давлению соответствует определенная влажность почвы" — справедлив для данного случая. Отсюда можно сделать важный в методическом отношении вывод: распределение давлений в грунте действительно позволяет судить о характере изменения влажности во время вакуумных сеансов и в перерывах между ними. Этим положением мы воспользуемся для исследования некоторых особенностей изменения дренажного стока во время вакуумных сеансов.

Как отмечалось ранее, эффект вакуумирования на разных стадиях осушения неодинаков [3]. Включение вакуума наиболее целесообразно во время перехода от первой ко второй фазе и в первой половине второй фазы. При этом достигается наиболее значительное увеличение расхода и снижение влажности грунта; в более поздние моменты опыта для достижения такого же эффекта необходимо значительно увеличивать отбор воздуха.

Во всех лабораторных экспериментах отмечено снижение вакуумного стока к концу сеанса при постоянном режиме отбора воздуха и отсутствии подачи воды на поверхность грунта [3]. При этом непременно отмечалось изменение положения изолиний вакуума в грунте в ходе вакуумных сеансов. С целью объяснения первого явления проведена серия опытов по изучению распространения вакуума в грунтовом сечении [3].

Распространение вакуума в грунте зависит от многих условий — плотности засыпки, равномерности промачивания и других, но характер изменения значений вакуума в любом грунтовом сечении определяется режимом вакуумирования, сопровождаемого изменением влажности грунта.

В результате сравнения изолиний вакуума в начале и конце сеансов вакуумирования установлено следующее: 1) в начале сеансов вакуумирования перепад значений вакуума достигает в придренной зоне наибольшей величины; 2) к концу сеансов

перепад значений вакуума уменьшается как в придренной зоне, так и на периферийных участках; 3) к концу сеансов увеличивается "зона больших вакуумов", т.е. область распространения вакуума, близкого по значению к вакууму в дрене, и увеличивается площадь вакуумной зоны в целом (рис. 2,а,б). Вид изолиний вакуума на рис. 2 схематизирован и отражает общие тенденции к их изменению, что отмечено в ходе многих опытов. Важно заметить, что увеличение площади вакуумной зоны и вакуума в грунте происходит даже при некотором снижении вакуума в дрене, вызванном увеличением воздухопроницаемости грунтовой засыпки вследствие снижения ее влажности.

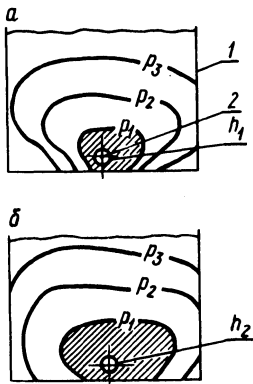


Рис. 2. Изолинии вакуума в грунтовом сечении в начале (а) и в конце (б) сеансов вакуумирования: 1 — лоток в разрезе; 2 — дрена;  $p_1, p_2, p_3$  — значения вакуума в грунте;  $h_1, h_2$  — вакуум в дрене ( $h_1 > h_2$ ). Заштрихована "зона больших вакуумов".

После безвакуумного перерыва в несколько часов при включении вакуума перепады давлений по грунтовому сечению вновь возрастают, и вид изолинии вакуума приближается к первоначальному (рис. 2,а). Сток в безвакуумные перерывы, как правило, уже отсутствует (за исключением начала опыта, относящегося к первой фазе стекания), но возобновляется при включении вакуума в любой последующий момент опыта на любой стадии осушения.

Таким образом, качественную оценку влияния вакуумирования на распределение влаги по грунтовому профилю можно проводить путем сравнения изолиний вакуума в необходимые моменты времени. Анализ данных о расходах дрены на фоне сравнения изолиний вакуума в грунте позволяет сделать следующие выводы: 1) в процессе вакуумирования удаляется влага, практически не участвующая в формировании обычного стока; 2) отмеченное во всех опытах увеличение "зоны больших вакуумов" к концу каждого сеанса и в последующих сеансах по сравнению с предыдущими свидетельствует о снижении

влажности в придренной зоне; 3) увеличение перепада давлений в нижних датчиках и сокращение "зоны больших вакуумов" после безвакуумного перерыва происходит вследствие передвижения в подсушенную зону новых порций влаги, которая, однако, не отводится безвакуумной дренажной; 4) по мере снижения влажности грунта вакуум в дренаже уменьшается, а область распространения его по грунтовому сечению увеличивается, что свидетельствует о стремлении к выравниванию по сечению снижающейся влажности грунта.

### Л и т е р а т у р а

1. Шимко К.И., Минаев И.В., Горезко Т.П. Некоторые результаты лабораторных исследований горизонтальной вакуумированной дренажной. — Науч.-техн.инф. "Мелиорация и водное хозяйство", 1971, № 4.
2. Минаев И.В., Майорчик А.Н., Горезко Т.П. Экспериментальная проверка работы горизонтального вакуумированного дренажа в полевых условиях. — Науч.-техн.инф. "Мелиорация и водное хозяйство", 1971, № 10.
3. Минаев И.В., Горезко Т.П. Некоторые результаты работы горизонтальной вакуумированной дренажной в лабораторных условиях. — В сб.: Проблемы водного хозяйства. Минск, 1971.
4. Горезко Т.П. Исследование режимов вакуумирования горизонтальных дренажных (по материалам полевых опытов в совхозе "Шарковщинский" Витебской обл.). — В сб.: Водное хозяйство Белоруссии. Вып. 5. Минск, 1975.
5. Дегтярев Б.М. Метод вакуумирования в мелиорации. — Докл. ВАСХНИЛ, 1966, № 7.
6. Григорьев В.М. Фильтрация воды и воздуха через грунт в условиях вакуумного водопонижения. М., 1959.
7. Калантаев В.А. Эффективность применения вакуума в закрытых горизонтальных дренажных системах в условиях орошения. Автореф. канд.дис. М., 1965.
8. Мариупольский Г.М. Теоретические основы и расчет гидромеханического вакуумирования фильтрационного потока. — В сб.: Специальные способы строительного водопонижения. Вып. 35. М., 1959.
9. Родионов Г.А., Шабер Г.Б. Влияние развития отрицательных давлений в фильтрационном потоке на эффективную проницаемость и сохранение линейного закона фильтрации. — В сб.: Мат-лы конф. по обмену опытом в научных исследованиях и проектировании осушения месторождений полезных ископаемых. Белгород, 1966.
10. Брудастова Р.А. О кинематике стекания воды из осушаемых почво-грунтов. — Гидротехника и мелиорация, 1958, № 10.
11. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Физика почв. М., 1967.
12. Бондаренко

Н.Ф., Нерпин С.В., Котов А.И. Начальные условия движения жидкости в дисперсных системах. — В сб.: Четвертая Всесоюзн. конф. по коллоидной химии (тез. докл.). М., 1958. 13. Брусиловский А.И., Рудой А.У. Некоторые теоретические предпосылки к прогнозу водного режима на почвах тяжелого механического состава. — В сб.: Мелиорация переувлажненных земель. Т. XXII. Минск, 1974. 14. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. Т. 1. М., 1965.

УДК 631.6(-52):556.332.52

В.П. Сельченко, Г.И. Лютко,  
В.А. Деревянко, В.Н. Шульга

### СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

Одной из существенных сторон комплексной механизации и автоматизации производственных процессов является проблема сбора, передачи и обработки информации, необходимой для управления технологическим процессом и решения связанных с ним научно-технических вопросов. В условиях возрастающей сложности современных технологических процессов простое количественное накопление на объекте контроля разнообразных измерительных приборов, построенных по "классической" схеме (датчик — измерительная цепь — указатель или регистратор), становится невыгодным ни в отношении удобства эксплуатации, ни в экономическом отношении [1].

При мелиорации земель одним из параметров, определяющим условия благоприятного водообеспечения растений, является уровень грунтовых вод. Использование этого параметра в качестве регулирующего обуславливает применение в измерительной системе первичных преобразователей, создание или приобретение которых осуществляется значительно проще, чем, например, датчиков влажности почвы. С учетом этого в лаборатории автоматизации управления водным режимом почв БелНИИМиВХ была разработана и изготовлена информационно-измерительная система, которая обеспечивает сбор информации от датчиков уровня грунтовых вод, ее переработку, хранение, отображение и оперативное использование.

В информационно-измерительной системе УГВ функции отдельных измерительных приборов выполняются одним централизованным автоматическим устройством, связанным с пер-