

Учет гистерезисных явлений в почвогрунтах при проектировании гидромелиоративных систем

Жибуртович К.К.
(ГК "Белмилиоводхоз")

В литературных источниках предполагается общий характер закономерности водоотдачи и недостатка насыщения. Наши же исследования и теоретические проработки показали, что между ними имеется значительное несоответствие.

Для оценки количественных различий между величинами водоотдачи и недостатка насыщения грунтов соответственно при обезвоживании и водонасыщении нами, с применением методов планирования эксперимента, были проведены опыты по определению параметров кривых распределения влаги над УГВ при осушении (понижении УГВ) и водонасыщении (повышении УГВ) легких минеральных грунтов.

Для проведения эксперимента использовали композиционный, симметричный, рототабельный, симплексносуммируемый план на шестиугольнике, включающий восемь опытов.

Опыты проводились по методу постоянного расхода на поверхности образца (Методические указания по определению водно-физических свойств почвогрунтов мелиорируемых земель. Афанасик Г.И., Лундик К.П.). Подробное описание методики проведения опытов содержится в работах (Жибуртович К.К., Щербаков Г.А. Методика определения водоотдачи песчаных грунтов// Тез. Докл. V Всесоюз. Совещ. по мелиор. гидрологии, инж. геологии и мелиор. почвоведению; Жибуртович К.К. Модели и алгоритмы расчетов коэффициентов водоотдачи в однородных многослойных грунтах// Мелиор. и вод. хоз-во.). Сравнение распределения вероятностей полученных кривых проводили при потенциалах, не превышающих h_k (высота капиллярного поднятия), численным и графоаналитическим методами. На рис.1 приведен вероятностный трафарет для определения параметров S_{cp} и σ применительно для грунта ($d_{10} = 0,16$, и $d_{60} = 7,6$), где d_{10} — диаметр частиц, меньше которых в грунте содержится 10% по весу, мм; $u = d_{60}/d_{10}$ — коэффициент неоднородности грунта; d_{60} — диаметр частиц, меньше которых в грунте содержится 60% по весу, мм.

Обработка результатов эксперимента позволила получить аналитические зависимости для определения коэффициентов w , учитывающих несоответствие капиллярных свойств грунтов при понижении и повышении УГВ.

$$w = 0,395 - 1,08d_{10} \quad \text{при} \quad 0,01 \leq d_{10} \leq 0,16 \quad (1)$$

$$w = 0,261 - 0,241d_{10} \quad \text{при} \quad 0,16 < d_{10} \leq 0,5 \quad (2)$$

$s; \hat{s}$

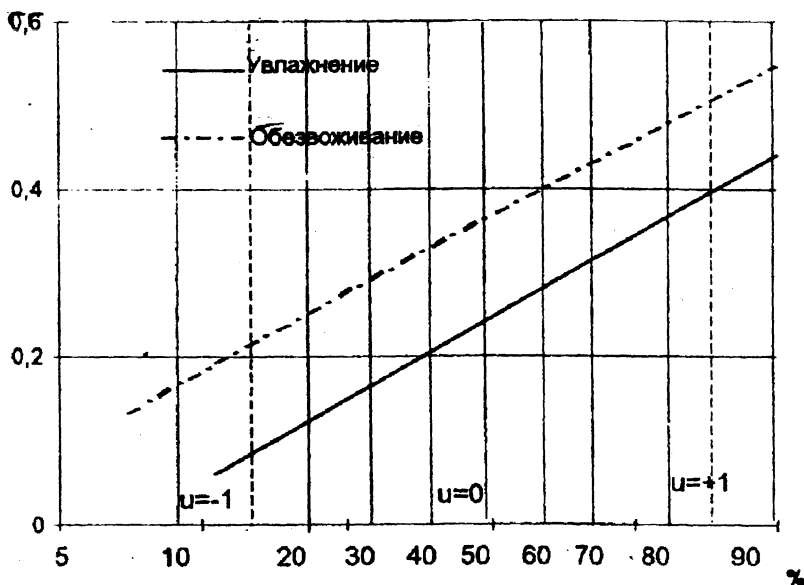


Рис.1. Вероятностный трафарет для определения параметров S_{cp} и σ

Ввод этих коэффициентов в формулы для определения коэффициентов водоотдачи позволил разработать структуру расчетных зависимостей для определения коэффициентов недостатка насыщения $\mu_u(S)$ в грунтах при равновесном состоянии влаги в насыщенном слое.

При решении задач оптимизации уровня режима (подпочвенное увлажнение) необходимо располагать данными о дифференциальном (текущем) коэффициенте недостатка насыщения $\mu_\partial(S)$, который для однородных грунтов легкого механического состава в соответствии с вышеизложенным определяется выражением

$$\mu_\partial(S) = \mu_n(d, u) \cdot \varphi(H, S, d). \quad (3)$$

Здесь и далее $d_{10} = d$.

H – повышение УГВ от первоначального, м;

(S) – расстояние от повышенного УГВ до расчетной точки, м;

$\mu_n(d, u)$ – предельное (максимальное) значение коэффициента водоотдачи для грунта, характеризуемого параметрами d и u . Определяется (дол. ед.) по формулам.

$$\mu_n = 3,690d - 8,2d^2 + 0,009u - 0,180du$$

$$\text{при } 0,01 \leq d \leq 0,16, \quad (4)$$

$$\mu_n = 0,398 - 0,327d - 0,0312u + 0,0654du$$

$$\text{при } 0,16 < d \leq 0,5. \quad (5)$$

В практике мелиоративных расчетов часто применяется параметр d_{17} – диаметр частиц, меньше которых в грунте содержится 17% по весу. Переход от d_{17} к d_{10} осуществляется по формуле

$$d_{10} = d_{17} - 0,01. \quad (6)$$

Эмпирическая функция φ имеет вид

$$\varphi(H, S, d) = 1 - \frac{\operatorname{erfc} \left[\frac{S - (S_{cp} - wH)}{\sigma\sqrt{2}} \right]}{2 - \operatorname{erfc} \left(\frac{S_{cp} - wH}{\sigma\sqrt{2}} \right)}, \quad (7)$$

при $H \in h_k$

S_{cp} и σ – эмпирические коэффициенты, характеризующие капиллярные свойства грунтов при понижении УГВ, зависящие от d и рассчитываемые по зависимостям.

Для диапазона вариации $0,01 \leq d \leq 0,16$

$$S_{cp} = 0,694 - 2,01d, \quad (8)$$

$$\sigma = 0,680 - 3,35d,$$

а для диапазона $0,16 < d \leq 0,5$

$$S_{cp} = 0,487 - 0,718d. \quad (9)$$

$$\sigma = 0,168 - 0,148d,$$

w – эмпирический коэффициент, учитывающий несоответствие капиллярных свойств грунтов при понижении и повышении УГВ, определяемый по зависимостям (1), (2);

h_k – величина максимального капиллярного поднятия в грунтах

определяемая по зависимостям [8, 10].

$$\begin{aligned} h_k &= 1,622 - 6,80d & \text{при } 0,01 \leq d \leq 0,16 \\ h_k &= 0,652 - 0,734d & \text{при } 0,16 < d \leq 0,5 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\operatorname{erfc}(z) = 1 - \operatorname{erf}(z), \operatorname{erf}(z) \text{ функция ошибок} \quad (11)$$

$$\operatorname{erfc}(-z) = 2 - \operatorname{erf}(z)$$

При значительных повышениях УГВ ($H \geq h_k$) эмпирическая функция (7) приводится к виду:

$$\varphi(H, S, d) = \varphi(S_{cp}, S, d) = 1 - \frac{\operatorname{erfc}\left(\frac{S - S_{cp}}{\sigma\sqrt{2}}\right)}{2 - \operatorname{erfc}\left(\frac{S_{cp}}{\sigma\sqrt{2}}\right)}, \quad (12)$$

где S_{cp} — эмпирический коэффициент, характеризующий капиллярные свойства грунтов при водонасыщении.

Остальные обозначения см. формулу (7).

Для оценки параметра S_{cp} , входящего в формулу (12), на основе применения методов планирования эксперимента получена интерполяционная формула в виде алгебраического полинома.

$$S_{cp} = 0,122 + 0,82d \quad \text{при } 0,01 \leq d \leq 0,16, \quad (13)$$

$$S_{cp} = 0,329 - 0,470d \quad \text{при } 0,16 < d \leq 0,5. \quad (14)$$

В балансовых расчетах используется коэффициент интегрального (суммарного) недостатка насыщения $\mu_u(S)$ (коэффициент недостатка насыщения).

Для однородных почвенно-грунтовых толщ $\mu_u(S)$ определяется выражением

$$\mu_u(S) = \mu_n(d, u) \cdot \varphi^*(H, S, d), \quad (15)$$

$$\varphi^*(H, S, d) = 1 - \frac{\operatorname{ierfc}\left(\frac{\varpi H - S_{cp}}{\sigma\sqrt{2}} - \operatorname{ierfc}\left[\frac{S - (S_{cp} - \varpi H)}{\sigma\sqrt{2}}\right]\right)}{\frac{S}{\sigma\sqrt{2}} \left[2 - \operatorname{erfc}\left(\frac{S_{cp}}{\sigma\sqrt{2}}\right)\right]}, \quad (16)$$

при $H \in h_k$

$$\varphi^*(H, S, d) = \varphi(S_{cp}, S, d) = 1 - \frac{\text{ierfc}\left(-\frac{S_{cp}}{\sigma\sqrt{2}}\right) - \text{ierfc}\left(\frac{S - S_{cp}}{\sigma\sqrt{2}}\right)}{\frac{S}{\sigma\sqrt{2}} \left[2 - \text{erfc}\left(\frac{S_{cp}}{\sigma\sqrt{2}}\right) \right]} \quad (17)$$

при $H \geq h_k$

см. обозначения формулы (7), (12).

На рис.2 приведен гистерезис зависимости φ для среднезернистого песка ($d_{10} = 0,2$ мм, $u = 2,8$), рассчитанный по вышеприведенным зависимостям.

В общем случае формула для определения коэффициента недостатка насыщения $\mu_{\partial i(S)}$ с многочисленных почвогрунтов имеет вид

$$\mu_{\partial i(S)} = \mu_{ni}(d_i, u_i)\varphi(H, S, d_i) \quad (18)$$

Эмпирическая функция φ имеет вид

$$\varphi(h, S, d_i) = 1 - \frac{\left[\text{erfc} \frac{S - (S_{cpi} - \varpi_i H)}{\sigma_i \sqrt{2}} \right]}{2 - \text{erfc} \left(\frac{S_{cpi} - \varpi_i H}{\sigma_i \sqrt{2}} \right)}, \text{ при } h_{кп} > S_n,$$

где S_{cpi}, σ_i — эмпирические коэффициенты, характеризующие поровую структуру i -го слоя грунта при понижении и повышении УГВ;

$h_{кп}$ — величина капиллярного поднятия в n -м слое грунта после подъема УГВ на величину H ;

S_n — слой, в котором расположен первоначальный УГВ.

Остальные обозначения см. формулу (7).

Если $h_k \leq S_n$, т.е. не достигает подошвы слоя S_{n-1} после повышения УГВ на величину H , то коэффициент недостатка насыщения слоев $i = 1 \div n - 1$ равен

$$\mu_{\partial i(S)} = \mu_{ui(S)} = \mu_{ni} \quad (20)$$

Для определения коэффициента недостатка насыщения $\mu_{u(S)}$, с

44

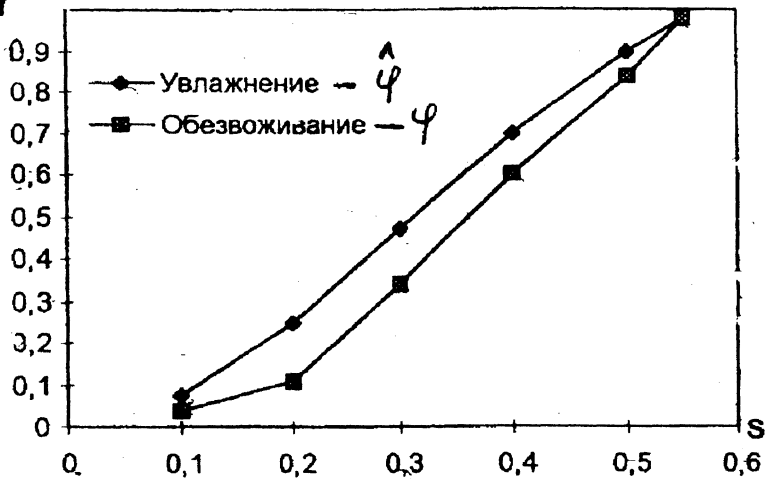


Рис.2. Гистерезис зависимости ϕ для среднезернистого песка
($d = 0,2$ мм, $u = 2,8$).

многослойных почвогрунтов необходимо просуммировать для всех или нескольких слоев количество недостающей до полной влагоемкости влаги и разделить на расстояние от повышенного УГВ до поверхности земли или расчетного горизонта.

Формула для определения $\mu_u(S)$ с многослойных почвогрунтов имеет вид

$$\mu_u(S) = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{W}_i(S)}{S}, \quad (21)$$

где \bar{W}_i — объем влаги в i -том слое грунта, недостающей до полного водонасыщения, $i = 1 \div n$, м.

Определение \bar{W}_i производится в следующей последовательности:

а) определяется объем недостающей до полного водонасыщения влаги в слое однородного грунта мощностью

$$S - \sum_{j=1}^i S_{j-1};$$

б) определяется объем недостающей до полного водонасыщения влаги в толще однородного (фиктивного) грунта мощностью

$$S - \sum_{j=1}^i S_{j-1};$$

в) \overline{W}_i рассчитывается как разность объемов влаги, определяемых согласно пп. а и б.

В принятых обозначениях формула для определения \overline{W}_i имеет вид:

$$\begin{aligned} \overline{W}_i = & \lambda_i \left(H, S - \sum_{j=1}^i S_{j-1} \right) \cdot \left(S - \sum_{j=1}^i S_{j-1} \right) - \\ & - \lambda_i \left(H, S - \sum_{j=1}^i S_j \right) \cdot \left(S - \sum_{j=1}^i S_j \right), \end{aligned} \quad (22)$$

где $\lambda(H, X) = \mu_{ni}(d_i, u_i) \cdot \varphi^*(H, X, d_i)$,

$$X = S - \sum_{j=1}^i S_j. \quad (23)$$

Эмпирическая функция $\varphi^*(H, X, d_i)$ рассчитывается по формулам (16), (17).

Водоснабжение и водоотведение на лесохимическом заводе Будека Ю.Ф. (БГПА)

В силу того, что в литературе имеются крайне ограниченные и противоречивые сведения о водоснабжении и водоотведении лесохимических производств, в частности об отведении и составе производственных сточных вод, представляется интересным изложить результаты обследования водного хозяйства лесохимического завода.

Основной продукцией имеющегося в Республике Беларусь лесохимического завода является канифоль, скипидар, низкополимерные смолы (НПС) и товары народного потребления (ТНП) — тосол, водоэмульсионная краска, клей. Потребителями воды являются административно-бытовые корпуса, центральная заводская