

Петриковского района Гомельской области, выполненные нами совместно с Н. Ф. Башлаковым (БелНИИМиВХ). Тот же вывод имел место в производственных опытах В. П. Далькова, поставленных в совхозе «Красное» Молодечненского района Минской области и совхозе «Войково» Минского района [114].

В соответствии с данными таблицы 3.21 экономия воды на небольших оросительных системах в отдельные годы может достигать 50 %. Подобным же образом экономится энергия, расходуемая на подачу воды. Следует иметь в виду, что урожайность сельскохозяйственных культур при создании оптимального водного режима имеет тенденцию к повышению [210], что вызвано прежде всего выравниванием урожая по участкам орошаемой площади и приближением его в среднем к максимальному уровню.

Обратим внимание на закономерность, установленную опытным путем (табл. 3.21, рис. 3.16): с повышением влагообеспеченности вегетационного периода потенциальные возможности экономии электроэнергии и воды возрастают.

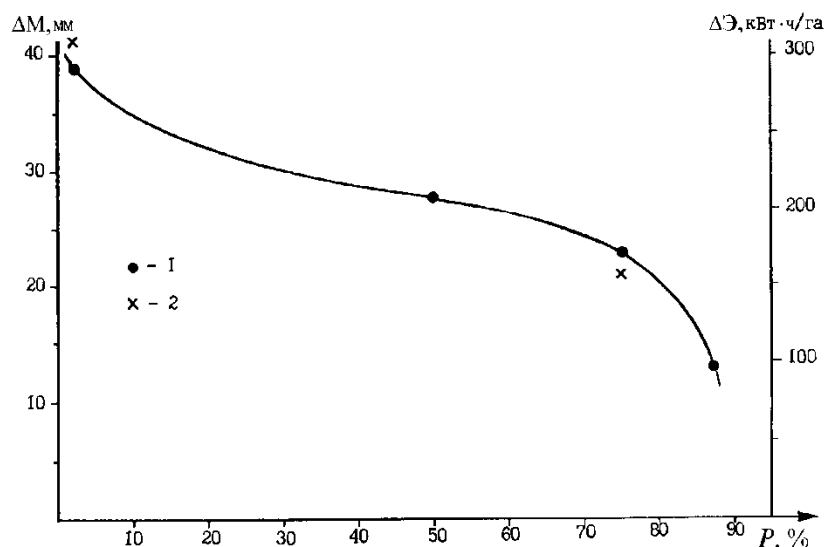


Рисунок 3.16 – Ожидаемая экономия поливной воды (1) и электроэнергии (2) в годы разной обеспеченности по возрастающему ряду дефицитов водопотребления сельскохозяйственных культур

Как видим, предложенная методика оптимизации даст максимальный эффект в условиях неустойчивого естественного увлажнения, когда жаркие и засушливые периоды в течение вегетации чередуются с прохладными и дождливыми. Именно таким климатом отличаются Беларусь, Прибалтийские государства, северо-западные и центральные районы Российской Федерации, Полесье Украины, Дальневосточный регион. Расширенная география подобных по влагообеспеченности районов говорит о достаточно высокой перспективе развития и внедрения в производство предложенной методики оптимизации режима орошения.

Таким образом, результаты полевых исследований убедительно подтверждают теоретические выводы, причем в опытах экономия воды и энергии получена больше ожидаемой. Причиной тому является учет в опытах затрат только двух компонентов из всех потребляемых ресурсов – воды и частично электроэнергии. Если учесть, что поливная вода пока бесплатна, а затраты на электроэнергию составляют лишь 20–30 % от объема всех затрат, то в пересчете на общий уровень получим как в полевых опытах, так и в теоретических расчетах экономию примерно одного и того же порядка.

Полученные в 80-е годы XX века опытные данные, несомненно, не устарели. Они вполне могут служить ориентиром для тех, кто работает в направлении совершенствования режимов и технологий орошения сельскохозяйственных культур в регионах с неустойчивым естественным увлажнением и сложным почвенным покровом.

3.3. Моделирование динамики почвенных влагозапасов на стадии управления сооружениями мелиоративных систем

Максимальная урожайность сельскохозяйственных культур достигается при максимальной интенсивности эвапотранспирации, которая является прежде всего продуктом благоприятного воздушного режима почв, достаточного притока влаги к корневой системе и тепла к испаряющей поверхности. Как известно, нижняя граница влагозапасов, при которых эвапотранспирация еще может поддерживаться на максимальном уровне, определяется подвижностью почвенной влаги и составляет

примерно 60–80 % от наименьшей влагоемкости ($W_{нв}$, W_{max}) (рис. 3.17, линия 1). А. А. Роде [531] определил эту границу как влажность разрыва водных капиллярных связей ($W_{врк}$, W_{min}) (рис. 3.17, линия 2). Наименьшая влагоемкость ($W_{нв}$) здесь выступает как верхняя граница оптимальной увлажненности деятельного почвенного слоя (рис. 3.17, линия 1). Таким образом, если динамика текущих почвенных влагозапасов (W_{oi}) будет отвечать максимальному водопотреблению (рис. 3.17, линия 7 – для многолетних трав), при условии

$$W_{врк} \leq W_{oi} \leq W_{нв}, \quad (3.75)$$

то урожай сельскохозяйственных культур, при прочих равных условиях, будет максимальным. В критические периоды (фазы развития растений) влажность почвы должна быть близкой к ($W_{нв}$), но в отдельные стадии вегетации возможно снижение текущей влажности почвы (W_{oi}) до значений, близких к ($W_{врк}$). Влажность корнеобитаемого слоя почвы на практике удерживается в некотором среднем (для данной фазы развития культуры) диапазоне (рис. 3.17, линия 3), который может быть определен как

$$V_{oi} = \frac{W_{max_i} + W_{min_i}}{2 \cdot W_{max}} \approx \frac{W_{нв} + W_{врк}}{2 \cdot W_{нв}}. \quad (3.76)$$

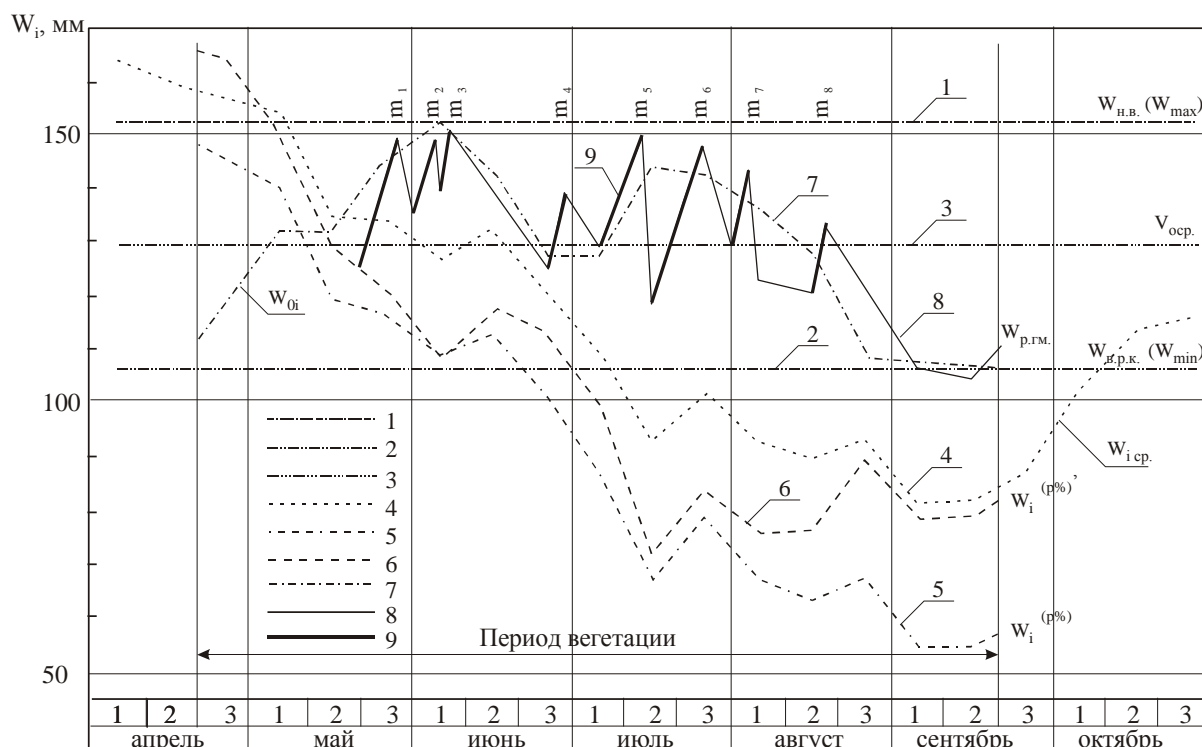


Рисунок 3.17 – Динамика влагозапасов в деятельном слое (0,5 м) суглинистых почв (г. Пинск): 1 – наименьшая влагоемкость ($W_{нв}$); 2 – влажность разрыва капиллярных связей ($W_{врк}$); 3 – средняя за вегетацию относительная влажность ($V_{оср}$); 4 – средняя многолетняя ($P = 50\%$) влажность ($W_{i\text{cp}}$); 5 – равнообеспеченная ($P = 75\%$) влажность ($W_i^{P\%}$); 6 – скорректирована по реальному ($P = 75\%$) году влажности ($W_i^{P\%'}$); 7 – влажность заданного для многолетних трав уровня оптимума (W_{oi}); 8 – фактическая влажность почвы ($W_{р.гм}$); 9 – поливная норма (m), мм

Для управления водно-воздушным режимом почв необходимо иметь фактический (рассчитанный) гидрограф влажности почвы корнеобитаемого слоя. Так как влажность почвы имеет стохастическую природу и зависит от целого ряда случайных факторов, можно с достаточной степенью достоверности при построении гидрографа использовать методы математической статистики. Как известно, наиболее точно рассчитывается гидрограф естественной влажности почвы для среднего многолетнего периода (рис. 3.17, кривая 4), который может служить основой в процессе моделирования динамики почвенных влагозапасов и разработки с использованием статистических методов типовых (обеспеченных) гидрографов влагозапасов расчетного почвенного слоя (рис. 3.17, кривая 5).

В настоящее время предлагаются разнообразные модели, описывающие динамику почвенных влагозапасов с той или иной степенью дискретности и точности, но для практических целей наиболее приемлем воднобалансовый метод, обеспечивающий степень дискретности – месяц, декада, пентода. В общем виде уравнение водного баланса записывается как

$$W_{ki} = W_{Hi} + X_i - E_{0i} - Y_i + G_i - J_i, \quad (3.77)$$

где W_{ki} ; W_{Hi} – запасы влаги соответственно на конец и начало расчетного интервала времени, мм; X_i – сумма атмосферных осадков за расчетный интервал времени, мм; E_{0i} – оптимальное водопотребление сельскохозяйственной культуры за тот же период, мм; Y_i – поверхностный сток, мм; G_i – грунтовая составляющая водного баланса расчетного слоя почвы, мм; J_i – инфильтрация почвенной влаги в более глубокие слои из зоны аэрации, мм.

Как правило, уравнение (3.77) при расчетах по средним многолетним величинам балансовых элементов используется с некоторыми допущениями: не учитывается величина поверхностного стока (Y_i), так как для средних многолетних условий в период вегетации поверхностный сток наблюдается довольно редко; не учитывается также инфильтрационная составляющая влагообмена с нижележащими слоями почвогрунтов (J_i). В противном случае эти расходные элементы (Δ) суммарно будут оцениваться как

$$\Delta = (Y_i + J_i) = W_{нс} - W_{ki}, \text{ при } W_{ki} \geq W_{нс}, \quad (3.78)$$

где $W_{нс}$ – полная влагоемкость расчетного слоя почвы, мм.

Как показывают многочисленные исследования, распределение вероятностей величин влажности почвы подчиняется нормальному закону и определяется двумя параметрами (средним многолетним значением – W_{icp} ; коэффициентом вариации – C_{vi}), а обеспеченные величины влагозапасов ($W_i^{p\%}$) могут рассчитываться по схеме

$$W_i^{p\%} = W_{icp} \cdot (C_{vi} \cdot \Phi_{p\%} + 1), \quad (3.79)$$

где $\Phi_{p\%}$ – нормированные отклонения ординат кривой (расчетной обеспеченности) от среднего многолетнего значения.

Исследования временной изменчивости величин влажностей почвы, полученных экспериментальным путем за короткие интервалы времени, показали, что коэффициент вариации (C_{vi}) можно достаточно точно определять по зависимости [82]

$$C_{vi} = \lambda \cdot \left(\frac{W_{нс}}{W_{icc}} + \frac{W_{нс}}{W_{нс}} \right), \quad (3.80)$$

где λ – эмпирический коэффициент, зависящий от влагоемкости почвы и естественной ее увлажненности.

При этом величина (λ) определяется как

$$\lambda = A \cdot W_{нс} + B, \quad (3.81)$$

где A , B – эмпирические коэффициенты, зависящие от мощности расчетного почвенного слоя (для 0,5-метрового слоя соответственно равны 0,0021; 0,11).

Определяя влажность деятельного слоя почвы за вегетационный период в характерные годы, необходимо учитывать асинхронность хода рассчитанных (рис. 3.17, кривая 5) обеспеченных значений почвенных влагозапасов ($W_i^{p\%}$) с реальным их ходом в год той же обеспеченности ($W_i^{p\%'}$) (рис. 3.17, кривая 6). Мера асинхронности определяется неадекватностью соотношений естественных ресурсов тепла и влаги в конкретные расчетные интервалы времени и в целом за период вегетации растений. Поэтому влажность почвы ($W_i^{p\%}$), полученная для характерных лет по уравнению (3.79), требует корректировки с учетом реального ее хода в аналогичном реальном году расчетной обеспеченности ($W_i^{(p\%'')}$).

Схематизируя внутригодовое распределение выявленных невязок, надо исходить из наличия критических периодов (фаз) развития культур, в которые они наиболее чувствительны к колебаниям почвенных влагозапасов.

Скорректированные значения влажности почвы ($W_i^{(p\%'')}$) любой обеспеченности оцениваются по выражению

$$W_i^{(p\%'')} = W_i^{p\%} - \frac{\sum_{i=1}^n W_i^{p\%} \cdot (1 - \alpha_w(P)) \cdot (K_{b(max)}^{p\%} - K_{b(i)}^{p\%})}{\sum_{i=1}^n (K_{b(max)}^{p\%} - K_{b(i)}^{p\%})}, \quad (3.82)$$

где $K_{b(max)}^{p\%}$ – максимальное декадное значение коэффициента водопотребления (биологического, биоклиматического и т. п.) P %-ной обеспеченности; $K_{b(i)}^{p\%}$ – значение коэффициента водопотребления той же обеспеченности за конкретную декаду (i); $\alpha_w(P)$ – коэффициент перехода от значений влажности почвы ($W_i^{p\%}$) к скорректированным ее значениям ($W_i^{(p\%)'}$).

Анализ асинхронности обеспеченностей влажности почвенных влагозапасов в смежных интервалах осреднения позволил выявить эмпирическую зависимость для определения переходного коэффициента ($\alpha_w(P)$)

$$\alpha_w(P) = \left(\left(0,915 \cdot \exp\left(\frac{26}{W_{нв}}\right) \right) - \alpha_t \cdot \exp\left(\frac{\beta_t}{W_{нв}}\right) \cdot P \right)^{-1}, \quad (3.83)$$

где α_t и β_t – эмпирические коэффициенты, зависящие от продолжительности периода вегетации.

Например, в зоне неустойчивого естественного увлажнения для периода май – август ($\alpha_t^{V-VIII} = 0,047$, $\beta_t^{V-VIII} = 202$); для периода апрель – октябрь ($\alpha_t^{IV-X} = 0,084$, $\beta_t^{IV-X} = 152$).

Таким образом, можно получить расчетный гидрограф влагозапасов корнеобитаемого слоя почвы любой обеспеченности с учетом биологических особенностей возделываемой культуры. Полученный гидрограф может быть использован как стратегический компонент управления режимами почвенных влагозапасов на стадии проектирования и эксплуатации гидромелиоративных систем, при управлении линейными и сетевыми сооружениями.

При этом реализуются различные типы режимов гидромелиораций (увлажнительный, увлажнительно-промывной, ирригационно-возможный, хозяйственно-возможный), которые можно дополнить технически-возможным и экологически-необходимым. При надлежащем хозяйственно-экономическом обосновании используемый в конкретных условиях эксплуатационный режим гидромелиораций можно назвать «рациональным» [82]. Отличительной чертой разрабатываемого рационального режима гидромелиораций является присущая ему и соответствующим образом обоснованная динамика почвенных влагозапасов как в целом за вегетационный период, так и в конкретные фазы развития растений ($W_{рзм}$) (рис. 3.17, линия 8).

Наличие дефицитов (D_i) или избытков (U_i) водного баланса (ВБ) корнеобитаемого слоя почвы за расчетный интервал времени (для большинства сельскохозяйственных культур – декада) можно установить из соотношений

$$D_i \cdot (H_i) ВБ = \begin{cases} W_i - W_{нв}, & \text{если } W_i > W_{нв} - \text{требуется осушение;} \\ 0, & \text{если } W_{нв} \geq W_i \geq W_{врк} - \text{гидромелиорации не требуются;} \\ W_i - W_{врк}, & \text{если } W_i < W_{врк} - \text{требуется орошение.} \end{cases} \quad (3.84)$$

При разработке режимов гидромелиораций водохозяйственная задача сводится к объективному описанию естественного внутригодового хода почвенных влагозапасов в деятельном слое ($W_i^{p\%}$) (рис. 3.17, кривая 6), моделированию рационального для конкретных условий хода декадных значений влажностей почв ($W_{рзм}$) (рис. 3.17, линия 8) с установлением при этом неизбежных диспропорций ($\pm m_{ip\%}$) и путей их ликвидации за счет совмещения кривых (6) и (7) в одну линию (рис. 3.17, линия 8–9).

Декадные значения дефицитов (избытков) водного баланса корнеобитаемого слоя почвы ($\pm m_{ip\%}$) находятся из соотношения

$$\pm m_{ip\%} = W_i^{(p\%)'} - W_{0i}, \quad (3.85)$$

где $W_i^{(p\%)'}$ – фактическая (истинная) влажность почвы, причем в условиях гидромелиорации это значение не должно опускаться ниже нижнего оптимального уровня, т. е. ($W_i^{(p\%)'} \geq W_{врк}(W_{min})$); W_{0i} – оптимально потребные почвенные влагозапасы, обеспечивающие оптимальное водопотребление сельскохозяйственной культуры.

Почвенные влагозапасы под сельскохозяйственной культурой необходимого уровня оптимальности (W_{0i}) (рис. 3.17, кривая 7) задаются соответствующим процентом обеспеченности, рациональным для данного режима гидромелиораций ($W_{0i} = W_{рзм}$); тогда выражение (3.85) примет вид

$$\pm m_{ip\%} = W_i^{(p\%)} - W_{p2mi}, \quad (3.86)$$

где W_{p2mi} – рациональное для данного типа режима гидромелиораций значение почвенной влажности (соответствующей обеспеченности).

При этом решается задача наиболее полного копирования линией (W_{p2mi}) (рис. 3.17, линия 8) хода почвенных влагозапасов заданного уровня оптимальности, отвечающего оптимальному водопотреблению (W_{0i}) (рис. 3.17, кривая 7), что осуществляется через мелиоративные воздействия соответствующими нормами (m_i) (рис. 3.17, линия 9) в сроки, приуроченные к моментам значительных расхождений кривой (7) и линии (8) (рис. 3.17). В принципе, при регулировании водного режима почв мелиоративной нормой (m_i) (рис. 3.17, линия 9) в сочетании с естественными почвенными влагозапасами ($W_i^{(p\%)}$) формируется рациональная динамика почвенной влажности (W_{p2mi}).

Тенденция изменения естественных почвенных влагозапасов ($W_i^{(p\%)}$) должна быть учтена при моделировании рационального их хода в межполивной период (W_{p2mi}^k)

$$W_{p2mi}^k = \frac{W_{p2mi}^H \cdot (2 \cdot W_{ki}^{(p\%)} - X_i) + X_i \cdot (W_{ni}^{(p\%)} + W_{ki}^{(p\%)})}{2 \cdot W_{ni}^{(p\%)} + X_i}, \quad (3.87)$$

где W_{p2mi}^H – влажность почвы на начало расчетного периода или сформированная в результате проведенного полива (рис. 3.17, линия 8); W_{p2mi}^k – влажность почвы на конец расчетного периода или первого после полива расчетного интервала времени (рис. 3.17, линия 8); $W_{ni}^{(p\%)}$ и $W_{ki}^{(p\%)}$ – фактические (истинные) влажности почвы соответственно на начало и конец расчетного периода (рис. 3.17, кривая 6); X_i – прогнозируемые атмосферные осадки на соответствующий расчетный период.

Поливные нормы (m_i) получают графически в результате оптимизации почвенных влагозапасов (W_{p2mi}) (рис. 3.17, линия 8–9). Проекция наклонной линии (9) на абсциссу времени зависит от площади орошаемого поля, поливной нормы, метода орошения и способа полива, впитывающей способности почв и увязанной с ней интенсивности дождя используемых дождевальных устройств.

Оценка экологических последствий проводимых поливов осуществляется с использованием следующего алгоритма [233]:

$$U = \sum_{i=1}^n \begin{cases} k_1(m) \cdot [W_{p2mi} - W_{max}], & \text{если } W_{p2mi} > W_{max}; \\ 0, & \text{если } W_{min} \leq W_{p2mi} \leq W_{max}; \\ k_2(W) \cdot (W_{min} - W_{p2mi}), & \text{если } W_{p2mi} < W_{min}, \end{cases} \quad (3.88)$$

где U – ущерб от переувлажнения почвы в процессе полива (эрозия, вынос питательных веществ, потери поливной воды и т. д.), а также от чрезмерного ее просыхания перед поливом (недобор урожая, снижение эффективности орошения и т. д.); $k_1(m)$, $k_2(W)$ – показатели ущерба, соответствующие избыткам / недостаткам почвенных влагозапасов.

Известно, что сельскохозяйственное поле по комплексу своих свойств (рельеф, микрорельеф, почвенный покров, геологические условия, характер и густота растений, естественное водное и минеральное питание и др.), как правило, чрезвычайно неоднородно. Для обеспечения экологически безопасного режима увлажнения (орошения) необходим оперативный инструментальный контроль динамики почвенных влагозапасов. Однако реализовать эту задачу с малыми затратами с учетом фактической пестроты свойств поля очень затруднительно. Оперативно и достаточно полно представить влажностную картину сельскохозяйственного поля можно, лишь используя материалы полевых исследований совместно с методами математического моделирования. При таком подходе необходимо: установить количество опытных точек в фактических границах сельскохозяйственного поля, требуемое для математического моделирования почвенных влагозапасов; определить координаты точек, в которых следует оперативно измерять влажность почвы и которые, в свою очередь, будут репрезентативными или характерными исходя из наиболее полного учета совокупности свойств рассматриваемого поля; принять оптимальную для возделываемой сельскохозяйственной культуры и временного интервала влажность почвы или гидромелиоративную норму (поливную, норму осушения), представительную в целом для поля; обосновать репрезентативную глубину установки датчика (взятия проб) с целью оценки влажности расчетного почвенного профиля. В ряде нормативных документов косвенно оговаривается необходимое количество опытных точек на один квадратный километр мелио-

рируемой площади в зависимости от масштаба съемки, но при этом отсутствуют указания на представительный в каждом конкретном случае объем выборки (n) и допустимую точность конечного результата. Мы предполагаем, что влажность почвы – случайная величина, и ее возможные значения распределяются на изучаемой территории непрерывно.

Вероятность события (P) той или иной случайной величины (W) меньше некоторой текущей переменной (w), однако их общие свойства можно охарактеризовать функцией распределения случайной величины (W)

$$F(W) = P(W < w) . \quad (3.89)$$

Функция $F(W)$ является интегральной характеристикой распределения случайных величин почвенно-гидрологических констант или фактических влажностей почвы в границах поля (севооборота). Производная от функции ($F(W)$) называется плотностью ее распределения – $f(W)$. Вероятность попадания случайной величины (W) в некоторый интервал $[a, b]$ выражается формулой

$$P(a < W < b) = \int_a^b f(W) dW . \quad (3.90)$$

Для генетически однородной совокупности случайная величина (W) часто подчиняется нормальному закону распределения вероятностей, при котором плотность распределения ($f(W)$), функция распределения ($F(W)$) и нормированные отклонения (t) находятся из выражений [66]:

$$f(W) = (2\pi)^{-0.5} \exp(-t^2 / 2) ; \quad (3.91)$$

$$F(W) = (2\pi)^{-0.5} \int_{-\infty}^t \exp(-t^2 / 2) dt ; \quad (3.92)$$

$$t = (W - w) / \delta . \quad (3.93)$$

Математическое ожидание (O), дисперсия (δ^2) и среднеквадратическое отклонение ($S_{cp.}$) рассчитываются по стандартным методикам.

Влажности почвы (W_{hi}) для поля в целом представляют собой бесконечную генеральную совокупность. В процессе полевых изысканий и исследований должна ставиться задача получения выборочной совокупности, обладающей полнотой всех свойств генеральной совокупности. К выборочному методу применима центральная предельная теорема, записываемая в виде [66]

$$P = \left[(\bar{W} - \bar{w}) < t\delta n^{-0.5} \right] = F(t) = (2\pi)^{-0.5} \int_{-t}^t \exp(-t^2 / 2) dt , \quad (3.94)$$

где n – число определений (объем выборки).

Из теоремы следует, что при ($n \rightarrow \infty$) вероятность разности $(\bar{W} - \bar{w})$ в пределах $(\pm t\delta n^{-0.5})$ равна $F(t)$.

Случайная выборка осуществляется следующим образом. Вся мелиорируемая площадь разбивается на квадраты, полностью входящие в принятые границы каждого поля. В ходе математической интерпретации данной операции вместо вероятностного пространства $\{\Omega, F, P\}$ рассматривается его конечное подпространство $\{\bar{\Omega}, \bar{F}, \bar{P}\}$ с множеством элементарных событий (W_i)

$$\bar{\Omega} = \{W_1, W_2, \dots, W_i, \dots, W_l\} , \quad (3.95)$$

где $\bar{\Omega}$ – случайная выборка влажности, $i = 1, 2, \dots, i, \dots, l$; i – номер квадрата; l – число квадратов; W_i – значение влажности почвы, определяемой в центре соответствующего квадрата.

Числовая функция от элементарного события (W) представляется случайной величиной

$$F(W = f(W)) . \quad (3.96)$$

При реализации данного подхода считается, что в пределах каждого квадрата значение конкретной почвенно-гидрологической константы (W_{jhi}) или влажности почвы (W_{hi}) постоянно. Число квадратов (l) принимается, с одной стороны, в зависимости от характера поля и выращиваемой культуры. Объем выборки назначается с учетом экономического фактора. С другой стороны, это следует из предельной центральной теоремы, представительность выборки повышается с увеличением количества проб, что, в свою очередь, удорожает экспериментальные работы. При случайном отборе объем выборки может быть установлен по формуле

$$n = t^2 \delta^2 (W - \bar{w})^{-2} . \quad (3.97)$$

Точность определения средней влажности сельскохозяйственного поля повышает вероятность достижения программируемого урожая на конкретном участке земель. Практика показывает, что расчетные урожаи сельскохозяйственных культур исходя из запасов продуктивной влаги и коэффициентов водопотребления по почвенным разностям и внутри их значительно колеблются. Известно также, что при назначении поливных норм с относительной ошибкой ($>\pm 10\%$) существенно снижается урожайность большинства культур. Доля дополнительного чистого дохода при мелиорации земель (ΔD), получаемая за счет повышения качества полевых почвенно-гидрологических изысканий и, следовательно, точности оценки фактических влагозапасов, нами определяется как

$$\Delta D = (S(\Delta_i Y') - C) \cdot A - E_H S_0 n, \quad (3.98)$$

где $S(\Delta_i Y') - C$ – часть дополнительного чистого дохода при мелиорации земель, получаемая с единицы площади за счет 100%-ной обеспеченности конкретного объекта материалами полевых почвенно-гидрологических изысканий и исследований ($F(t) = 1$); $S(\Delta_i Y')$ – стоимость собираемой при этом дополнительной сельскохозяйственной продукции; C – соответствующие дополнительные затраты на уборку прибавочного урожая ($C \cong 0,1 \cdot S(\Delta_i Y')$); A – мелиорируемая площадь – нетто; S – стоимость единицы продукции; $\Delta_i Y'$ – средняя проектная прибавка урожая на единицу площади за счет полной (100%-ной) обеспеченности объекта мелиораций материалами полевых почвенно-гидрологических изысканий и исследований; Δ_i – соответствующее приращение урожая на мелиорированных землях за счет 100%-ной обеспеченности объекта материалами полевых почвенно-гидрологических изысканий и исследований; Y' – проектная урожайность; $E_H S_0 n$ – нормативная стоимость дополнительных изыскательских, связанных с экспериментальным определением почвенных влагозапасов на мелиорируемом поле; E_H – нормативный коэффициент общей (абсолютной) народнохозяйственной эффективности капитальных вложений в мелиорацию в зависимости от специализации хозяйств ($E_H \cong 0,07$, при овоще-молочной специализации и в ценах базисного года); S_0 – стоимость определения влажности почвы в расчете на одну изыскиваемую точку; n – число точек (определений) на всем мелиорируемом поле.

Оптимальный объем экспериментальных работ по почвенно-гидрологическим изысканиям и исследованиям определяется из условия максимума функции (3.98), т. е. при $d\Delta D/dt = 0$. Предполагается, что без учета пестроты свойств почвенного покрова и, следовательно, при грубо приближенной оценке влагозапасов (W_{hi}) можно получить до половины (50 %) дополнительной продукции, относящейся к мелиоративным воздействиям ($F(t) = 0$). При полном учете на стадии изысканий и исследований (следовательно, в дальнейшем – при управлении водным режимом) пестроты водно-физических свойств почв мелиоративные воздействия могут дать практически 100%-ную прибавку урожая ($F(t) = 1$), связанную с их осуществлением. С учетом высказанных замечаний, используя также зависимость (3.97), преобразуем выражение (3.98)

$$\Delta D = 0,9 \cdot S \cdot \Delta_i Y'^{\odot} \cdot F(t) A - E_H \cdot S_0 \cdot t^2 \cdot \delta^2 \cdot (\bar{W} - \bar{w})^{-2}. \quad (3.99)$$

Дифференцируя выражение (3.99) по t , после некоторых преобразований получим

$$\exp(-t^2/2) - \beta t = 0, \quad (3.100)$$

где $\beta = E_H \cdot S_0 \delta^2 (2\pi)^{0,5} / ((\bar{W} - \bar{w})^2 0,9 S \Delta_i Y'^{\odot} A)$.

Решение уравнения (3.99) рекомендуется осуществлять графически. До изысканий значения величин δ и $(\bar{W} - \bar{w})$ неизвестны и предварительно задаются. Далее решается относительно t трансцендентное уравнение (3.100), для которого при заданном $(\delta / (\bar{W} - \bar{w}))$ по формуле (3.97) или соответствующим графикам предварительно устанавливается количество экспериментальных точек n' . Фактическая дисперсия и средняя величина выборки находятся по материалам собственно изысканий, если $n' < n$ – принятая выборка представительная, в противном случае – расширяется объем изысканий.

При технико-экономическом обосновании опорной сети точек с использованием материалов полевых изысканий строятся карты гидроизоплант почвенных влагозапасов и моделируются статистические структуры полей влажности деятельного слоя почв в различные по естественному увлажнению годы. При совместном анализе карт гидроизоплант почвенно-гидрологических констант и структуры полей влажности почв в различные периоды, устанавливается местоположение характерных

(реперных) точек, в которых влажность почвенного слоя количественно равна среднему ее значению в границах каждого сельскохозяйственного поля. Эти точки группируются вдоль гидроизоплеты, близкой к средневзвешенному значению одной из основных почвенно-гидрологических констант – наименьшей влагоемкости почв конкретного сельскохозяйственного поля.

Изложенный подход рекомендуется использовать для объективной и качественной оценки естественного водного режима почв на сельскохозяйственных угодьях при оперативном формировании мелиоративных воздействий в процессе управления сооружениями осушительно-увлажнительных систем Полесья.

3.4. Взаимосвязь и аналитическая оценка почвенно-гидрологических констант

Для мелиоративной практики важно иметь гидролого-мелиоративные характеристики не только по метеопунктам, но и по водосборным площадям, объектам гидромелиораций и, особенно, по отдельным сельскохозяйственным полям. Сельскохозяйственное поле по комплексу своих свойств (рельеф, микрорельеф, почвенный покров, геологические условия, характер и густота растений, естественное водное и минеральное питание и др.) чрезвычайно неоднородно. Для обеспечения разработки гидромелиоративных режимов необходим оперативный инструментальный контроль динамики почвенных влагозапасов. Однако реализовать эту задачу с малыми затратами с учетом фактической пестроты свойств даже одного поля практически невозможно. Мы считаем, что оперативно и достаточно полно представить влажностную картину сельскохозяйственных полей, входящих в тот или иной севооборот, можно, лишь используя материалы тепловоднобалансовых и полевых исследований совместно с методами математического моделирования и аналитических расчетов. При таком подходе необходимо: установить количество опытных точек в фактических границах сельскохозяйственного поля (мелиорируемой площади), требуемое для математического моделирования почвенных влагозапасов; определить координаты точек, в которых оперативно рассчитываемые (измеряемые) влажности почвы будут репрезентативными или характерными, исходя из наиболее полного учета совокупности свойств рассматриваемого поля (системы); принять оптимальную для возделываемой сельскохозяйственной культуры (угодья) и временного интервала влажность почвы или гидромелиоративную норму (поливную, норму осушения), представительную в целом для поля; обосновать репрезентативную глубину установки влагомера (взятия проб) с целью оценки влажности расчетного почвенного профиля. Кроме того, для формирования оптимального водно-воздушного режима расчетного слоя почв требуется знать широко используемые влагоемкости (почвенно-гидрологические константы (W_{jhi})), которые также неоднородны в границах реального сельскохозяйственного поля.

Степень доступности влаги для растений [263 и др.] увязывается с почвенными влагоемкостями. В сельскохозяйственной практике, включая земледелие на мелиорированных землях Белорусского Полесья, кроме наименьшей влагоемкости ($W_{нв}$), широко используется полная влагоемкость ($W_{пв}$), влажность разрыва капиллярных связей ($W_{врк}$), влажность устойчивого завядания ($W_{вз}$), максимальная гигроскопичность ($W_{мг}$). Количественная оценка почвенных влагоемкостей весовыми методами трудоемка, дорогостояща, требует специальной подготовки исполнителей, большого количества приборов и оборудования. Кроме того, очень сложно получить достоверную информацию о почвенно-гидрологических константах (W_{jhi}) из-за большой пестроты почвенного покрова территории Белорусского Полесья, особенностей строения вертикального профиля и неизбежной деградации почв при их нерациональном сельхозиспользовании. В этих условиях наиболее доступны методы математического моделирования и аналитических расчетов, использование которых позволяет существенно снизить затраты и оперативно получать значения почвенных влагозапасов и соответствующих влагоемкостей с ошибками, не более допускаемых для термостатно-весовых и других полевых методов.

Имеется ряд теоретических работ [19, 61, 97, 122, 176, 203, 357, 507, 508 и др.], посвященных послойной оценке почвенных влагозапасов и их корреляционным связям с влагозапасами на репрезентативной глубине. Авторы данных исследований установили практически функциональные зависимости фактических почвенных влагозапасов на глубинах 20; 30–40 см с влагозапасами расчетных слоев – W_{hi} (0–50; 0–70; 0–100; 0–200 см). Однако в цитируемых работах не уделено место исследованию взаимосвязей почвенно-гидрологических констант (W_{jhi}). Нами это исследование осуществлено применительно к дерново-подзолистым почвам Беларуси (70 % площади пахотных угодий) [57, 58, 269]. Для составления матриц почвенных влагоемкостей (W_{jhi}) использованы материалы агрогидрологических наблюдений по 51 характерному почвенному разрезу, включая разрезы на территории Белорусского Полесья [25]. Однометровый почвенный профиль при этом дифференцировался на 10-сантиметровые слои. С использованием матриц послойных (10 см) значений почвенных влагоемкостей