НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ИРРИГАЦИИ И ДРЕНАЖУ

IX МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС
ПО ИРРИГАЦИИ И ДРЕНАЖУ
МОСКВА · 1975

ПРОГРЕССИВНЫЕ СПОСОБЫ ОРОШЕНИЯ

СБОРНИК СТАТЕЙ СОВЕТСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ

ЦБНТИ МИНВОДХОЗА СССР
МОСКВА 1975

НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ИРРИГАЦИИ И ДРЕНАЖУ
МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР

IX МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС
ПО ИРРИГАЦИИ И ДРЕНАЖУ МОСКВА · 1975

ПРОГРЕССИВНЫЕ СПОСОБЫ ОРОШЕНИЯ, ВКЛЮЧАЯ МАШИННОЕ ОРОШЕНИЕ

(ВОПРОС 32)

СБОРНИК СТАТЕЙ СОВЕТСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ

ЦБНТИ МИНВОДХОЗА СССР
МОСКВА · 1975

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А.Ф. Радько (главный редактор), В.Д. Бердышев, Д.М.Кац, Г.А.Тер-Абрамянц, В.Я.Чичасов

Научные редакторы сборника
канд.техн.наук В.Д.Бердышев, доцент А.Ф.Радько

Сборник подготовлен к печати ЦБНТИ Минводхоза СССР

© ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Н.Т. Л а к т а е в. Полив хлопчатника по бороздам в Средней Азии

Laktaev N.T. Furrow irrigation of cotton in Middle Asia 7

Г.Н. П а в л о в. Поверхностный полив подверженных засолению земель с малыми уклонами

Pavlov G.N Surface irrigation of gently sloping salt-affected lands 25

В.А. С у р и н. Оросительная сеть для полива виноградников на крутых склонах

Surin V.A. Irrigation network for irrigating vineyards established on steep slopes . 33

В.Ф. Н о с е н к о, Н.Ю. К р е к к е р. Комбинированные поливы

Nosenko V.F., Krekker N.Yu. Combined furrow and sprinkling irrigation 44

А.А. Н и к о л ь с к а я. Развитие прогрессивных способов орошения земель в СССР

Nikolskaya A.A. Development of advanced land irrigation methods in the USSR 50

Стр.

А.Д. Александров, Б.К. Рассолов, В.Я. Чичасов, В.В. Горшков. Мелкодисперсное дождевание сельскохозяйственных культур

Alekcandrov A.D., Rassolov B.K., Chichasov V.Yu., Gorshkov V.V. Mist irrigation of crops 58

Е.А. Бакшеев, Л.И. Ким. Прогрессивные способы полива в Украинской ССР

Baksheev E.A., Kim L.I. Advansed irrigation methods in the Ukrainian SSR 79

Д.Б. Циприс, С.М. Белинский. Критерии равномерности полива и оптимальное расположение источников дождевальных струй

Tsipris D.B., Belinsky S.M. Criteria of water distribution uniformity and optimal location of sprinkler jet outlets 83

С.Х. Гусейн.- Заде. Определение конструктивных параметров многоопорных дождевальных машин

Gussein-Zade S.H. Determination of design features of multi-tower sprinkler systems 103

В.М. Легостаев, Н.Р. Хамраев, Э.Л. Окулич-Козарин. Исследование внутрипочвенного полива в Голодной степи

Khamraev N.R., Legostaev V.M., Okulich-Kazarin E.L. Studies of subsoil irrigation in the Golodnaya Steppe 112

Стр.

И.И. Судницын, Н.А. Муромцев, М.Е. Гинзбург, Е.В. Шеин. Использование измерителей потенциала почвенной влаги для контроля за поливом сельскохозяйственных культур

Sudnitsyn I.I., Muromtsev N.A., Gunzburg ME., Shein E.V. Application of soil moisture potential meters to control crop irrigation 121

О.Г. Грамматикати, В.А. Емельянов, К.К. Омаров, Д.У. Рамазанов, З.А. Шугаибов. Использование морской воды для орошения земель

Grammatikati O.G., Emelyanov V.A., Omarov K.K., Ramazanov D.U., Shugaibov Z.A. Use of sea water for irrigation 130

А.И. Жангарин. Насосные установки с гидроциклонной приемной камерой

Zhangarin A.I. Pump units provided with hydrocyclone intake chambers . . . 140

М.Г. Хублаян. Неустановившееся движение жидкости в напорных трубопроводах

Khublanyan M.G. Unsteady water flow in pressure pipelines 149

В.Н. Машков. Регулирование подачи воды каскадом Каршинских насосных станций

Mashkov V.N. Water deliveny redulation by means of a chain of Karshi pumping stations 159

Стр.

С.Г. Ф а т ю ш е н к о. Автоматизация и телемеханизация насосных станций

Fatyushenko S.G. Automatization and telemechanization of pumping stations 172

УДК 626.342.3:633.51(575)

Н.Т.Лактаев
(САНИИРИ)

ПОЛИВ ХЛОПЧАТНИКА ПО БОРОЗДАМ В СРЕДНЕЙ АЗИИ

Теоретические исследования полива по бороздам, проводимые в последние годы САНИИРИ, заключаются в отыскании следующих взаимосвязанных функций:

1) скорости впитывания воды почвой К (t);
2) величины слоя впитавшейся воды за время $m(t)$;
3) время добегания струи по сухой борозде $x(t)$
4) времени увлажнения в любом створе борозды $\tau(x)$

$$\tau = t - t_1$$

где t_1 – время добега до данного створа;

5) распределения увлажнения вдоль борозды $m(x)$;
6) расхода сброса $q_{сбр}(t)$ как разности между головным расходом q и расходом, идущим на впитывание почвой в борозде.

Числовые решения функций 5 и 6 позволяют выявить равномерность распределения воды по длине борозды и вычислить коэффициент полезного действия техники полива (в дальнейшем – к.п.д.).

Перечисленные частные функции объединяет балансовое уравнение относительно расхода q или стока qt

$$qt = a\int_0^x m(x_1) + dx_1 + \omega_{ср} \cdot x \qquad (1)$$

Это уравнение легко преобразуется в расчетное уравнение пути во времени

$$x = \frac{qt}{\omega} - \frac{a}{\omega}\int_0^t m(\tau)x' dt_1 \qquad (2)$$

Подынтегральная функция впитывания воды почвой $m(\tau)$ составляет "ядро" уравнения. Его качество определяет достоверность получаемого результата. Сложность решения уравнения (2) зависит от сложности его ядра.

Для определения скорости впитывания ("ядра") используют теоретические и апроксимирующие формулы. Для расчетов по теоретическим формулам необходимо знать распределение предполивной почвенной влажности, порозность, содержание защемленного воздуха, полную влагоемкость, коэффициент фильтрации или впитывания, высоту капиллярного поднятия. Следует учитывать, что верхние слои почвогрунта анизотропны, параметры многочисленны, мало изучены и не районированы. Поэтому, несмотря на большое научное значение этих формул, на практике их применять невозможно.

На первом этапе исследований за основу была принята формула А.Н.Костякова $K_t = K_1 : t^{\alpha}$, с помощью которой нами были решены все перечисленные функции. Однако полевые опыты показали невозможность применения этой зависимости для расчетов. Поскольку в формуле А.Н.Костякова K_t при увеличении t стремится к нулю, то, по выведенной на основе этого ядра функции $x(t)$, путь, проходимый водой по борозде, при увеличении t стремится к бесконечности. Это и не подтвердили полевые опыты.

Исследования САНИИРИ, ВНИИКАмелиорации, АрмНИИВПиГ показали, что при впитывании воды почвой через некоторое время скорость впитывания становится постоянной, т.е. процесс впитывания гораздо лучше апроксимируется двучленной формулой впитывания, предложенной Сазыкиным, Кулинченко, Бефани и др.:

$$K(t) = \frac{K_{уст} B}{t^{\alpha}} + K_{уст} \qquad (3)$$

или впитывающего слоя

$$m(t) = K_{уст}\left(1 + \frac{B}{1-\alpha} t^{1-\alpha}\right) \qquad (4)$$

Применение в уравнении (2) ядра, вычисленного, исходя из уравнения (4), дает решение $x(t)$, в котором длина пробега струи по сухой борозде ограничена пределом, зависящим от q и $K_{уст}$ в формуле (4) или (3), т.е. достигается необходимое соответствие с опытными данными.

Уравнение (2) при ядре, вычисленном по формуле (4), имеет вид:

$$x = \frac{qt}{\omega} - \frac{a K_{уст}}{\omega} \int_0^t \left[(t-t_1) + \frac{b}{1-\alpha} (t-t_1)^{1-\alpha} x' dt, \right. \quad (5)$$

На этом уравнении основываются все последующие исследования прикладного характера. На математической модели, апроксимирующей полив, решалась задача его оптимизации. Предполагалось, что в каждом конкретном полевом опыте при данных q, i, ω опытная функция $x = f(t)$ одновременно является, хотя и косвенной, но надежной комплексной характеристикой впитываемости почвогрунта опытного поля. На этой основе Институт кибернетики и ВЦ АН УзССР составили алгоритм решения на ЭВМ "обратной" задачи, суть которой заключается в непосредственном отыскивании на ЭВМ параметров $K_{уст}, b$ и α (по конкретным опытным данным $x = f(t, i, \omega, q)$). Предварительно была решена и "прямая" задача расчета на ЭВМ $x(t)$ при известных параметрах.

В результате обработки данных $x(t)$ по 630 опытам, проведенным в Узбекистане на разных почвах при различных уклонах и вариантах расходов (1,5 q, q и 0,5 q), получена совокупность опытных параметров, характеризующих впитываемость $K_{уст.}, b$ и α. Поскольку в каждом конкретном опыте эти параметры при поливе по бороздам зависят не только от почвы, но и от наполнения борозды, площади живого сечения, смоченного периметра, ширины по урезу, полученная совокупность опытных данных $K_{уст.}, b$ и α, хотя и выявила определенные закономерности, но оказалась еще недостаточно упорядоченной, т.к. на данной стадии исследований еще не выявлено влияние геометрии живого сечения борозды на процесс впитывания, т.е. не установлено изменение параметров $K_{уст.}, b, \alpha$ в зависимости от уклона поля и расхода воды в борозде.

Наиболее удачная корреляция между параметрами впитывания и геометрией потока в борозде получилась при связи параметров с шириной струйки по верху (В), что дало возможность использовать связь между параметрами $K_{уст.}, b, \alpha$ с относительной шириной, равной отношению В к ширине междурядий a

Такой прием камеральной обработки позволил наметить классификацию параметров почвогрунтов по водопроницаемости, независимую от техники поверхностного полива, т.е. такую систему стандартных $K_{уст.ст.}, b_{ст.}\ \alpha_{ст.}$ которая может применяться как для расчетов при поливе напуском (небольшим слоем), так и для расчета полива по бороздам при самых разнообразных расходах и на полях с любыми уклонами, поскольку qi и B связаны между собой.

Для перехода от параметров, полученных в опытах, к стандартным параметрам, характеризующим впитывание сероземных почвогрунтов при исходной (предполивной) влажности метрового слоя 0,65–0,70 предельной полевой влагоемкости, найдены следующие эмпирические зависимости:

$$K_{уст.ст.} = \frac{K_{уст.опыта}}{\sqrt{1-(1-B/a)^3}}, \quad (6)$$

$$b_{ст} = \frac{b_{опыта}}{\sqrt{1-(1-B/a)^3}}, \quad (7)$$

$$\alpha_{ст} = 0,9\,\alpha_{опыта}^{1,167}. \quad (8)$$

Полученная новая совокупность стандартных параметров $\alpha_{ст}, K_{уст.ст}$ и $b_{ст}$ в 630 опытах при изображении ее на чертеже показала большую упорядоченность. Это свидетельствует как о правильности проведенной трансформации, так и о наличии объективной закономерности в изучаемом природно-хозяйственном явлении.

Между параметрами $K_{уст}, b$ и α имеется также определенная связь, выражающаяся приближенным уравнением с 10%-ной точностью m.

$$K_{уст.ст} \cdot b_{ст} = 0,03085–0,03165\ \alpha_{ст} \quad (9)$$

Анализ и группировка опытных данных в зависимости от почвогрунтов и номера полива показала, что

$K_{уст.ст}$ зависит от водопроницаемости подпахотного горизонта: чем плотнее и тяжелее по мехсоставу подпахотный слой, тем меньше $K_{уст.ст.}$;

$в_{ст.}$ и $\alpha_{ст}$ зависят от структуры пахотного слоя: с улучшением структуры этого горизонта (например, черноземов) или его макропористости, т.е. мехсостава (супеси), уменьшается $в$ и возрастает α;

$в$ и α несколько уменьшаются от первого вегетационного полива к последнему; связь между снижением $в$ и повышением α пока не замечена.

На основании полученных данных предлагается следующая пятибалльная оценка почвогрунтов по водопроницаемости:

сильноводопроницаемые (А), где $K_{уст.ст.}$= 0,015 м/ч, $в_{ст}$= 1,45, $\alpha_{ст}$ = 0,333. На таких почвогрунтах возможно дождевание всеми существующими аппаратами и машинами без образования луж и поверхностного стока; возможен полив по бороздам длиной не более 100 м;

повышенной водопроницаемости (Б), где $K_{уст.ст}$ = 0,008, $в_{ст.}$ = 1,85, $\alpha_{ст.}$ = 0,50. Возможно дождевание всеми аппаратами и машинами, за исключением позиционных короткоструйных; полив осуществляется по бороздам длиной 100–200 м;

средней водопроницаемости (В), где $K_{уст.ст.}$= 0,0045 м/ч, $в_{ст.}$= 2,5, $\alpha_{ст.}$ = 0,6. Возможно дождевание дальне- и среднеструйными насадками с интенсивностью дождя 0,25–0,35 мм/мин, а также прерывистое дождевание машинами типа ДДА-100М при длине гона не менее 300 м; полив производится по бороздам длиной от 200 м (большие уклоны) до 300 м (малые уклоны);

пониженной водопроницаемости (Г), где $K_{уст.ст.}$ =0,0025 м/ч, $в_{ст.}$= 3,5, $\alpha_{ст.}$= 0,7. Возможно дождевание мелкокапельным дождем очень слабой интенсивности (0,25–0,20 мм/мин); полив осуществляется по бороздам длиной 300–400 м, а на широких междурядьях – свыше 400 м;

слабоводопроницаемые (Д), где $K_{уст.ст}$ = 0,0015 м/ч, $в_{ст}$= 4,7, $\alpha_{ст.}$ = 0,75. Хлопковые поля орошать дождеванием нерационально; полив допустим по бороздам длиной свыше 400 м.

При решении задачи оптимизации полива важно использовать средние уклоны местности. Принятая классификация земель по уклонам приводится в табл.1. По выделенным градациям уклонов и водопроницаемости было установлено 25 типовых сочетаний условий, для каждого из которых решалась задача оптимизации полива. Каждая типовая комбинация имеет свой индекс, состоящий из римской цифры (уклоны) и первых пяти прописных букв алфавита (водопроницаемости). Теоретическая эпюра увлажнения на полях со средними и большими уклонами показана на рис.1.

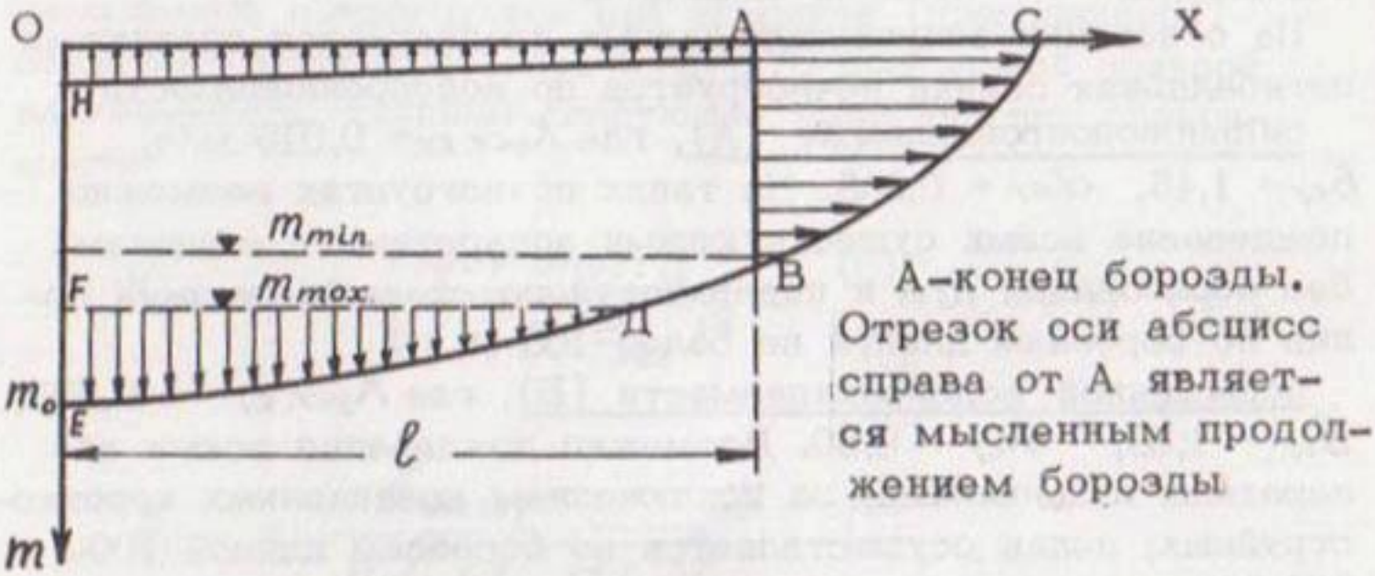


Рис. 1. Эпюра увлажнения при поливе постоянным расходом

Фигура АБС представляет собой сброс за пределы борозды. Наименьшее увлажнение, получаемое в конце борозды, показано ординатой $m_{min} = m_A$. Наибольшее увлажнение в начале борозды (ордината m_o) значительно превышает m_{max} (максимально возможное увлажнение), удерживающееся в расчетном корнеобитаемом слое. При этом m_o всегда больше m_{max} , в результате чего наблюдается глубинная утечка ниже корнеобитаемого слоя (фигура F, D, E , фигура O, H, J, A – потери на испарение в процессе полива).

Таблица I

Ширина междурядий a, м	Расходы в головах борозд, л/с, при величине уклонов					
	I зона 0,04	II зона 0,01	III зона 0,005	III-а подзона 0,00375	IУ зона 0,00175	У зона 0,0005
0,6	0,1	0,5	0,75	-	1,5	1,0
0,9	-	-	-	1,0	1,75	1,25

В производственных условиях к.п.д. техники полива, т.е. отношение части эпюры H, F, D, B, J ко всей эпюре, составляет в среднем 0,60–0,65, снижаясь при слабоводопроницаемых почвах и на полях с большими уклонами до 0,45.

На малых уклонах, когда в конце поля поливальщиками осуществляется некоторый подпор, точка А сдвигается к середине борозды. Сброс при этом или сильно сокращается, или совсем ликвидируется. Эпюра увлажнения показана на рис.2. К.п.д. повышается до 0,65–0,70.

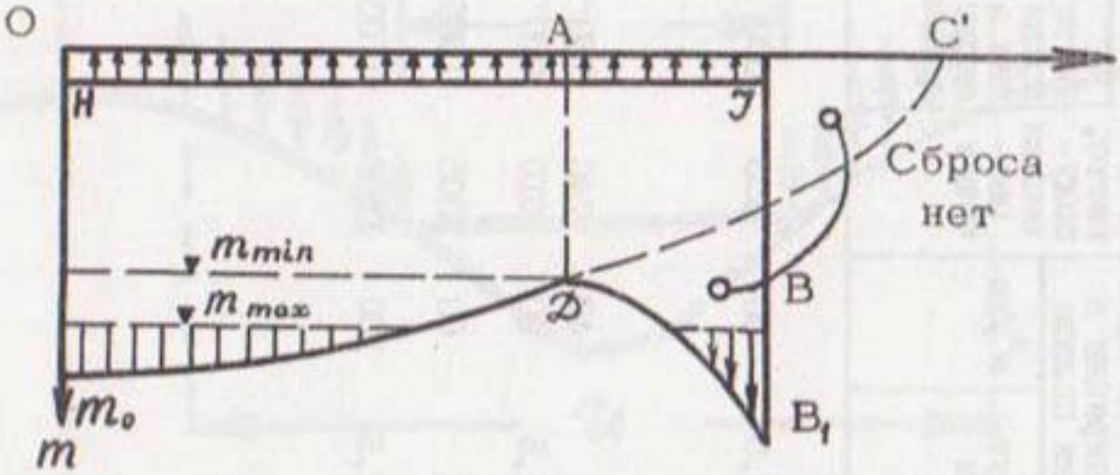


Рис. 2. Эпюра увлажнения при поливе на малых уклонах с подпором

Отыскание нормативов элементов техники полива по бороздам для намеченных 25 комбинаций природных условий сводится к повторному решению прямой задачи при уже известных $K_{уст}$, β и α. Задача состоит в отыскании q, L и T, при которых функция к.п.д.= $f(q, L, T)$ достигает максимума. Исходными условиями решения задач были следующие.

1. Требуемые поливные нормы ($м^3$/га) и минимально допустимый предел увлажнения в критической точке А определялись по табл.2.

2. Максимально допустимые расходы в головах борозд (q, л/с) принимались по табл.1.

3. В опытах испарение в процессе полива не учитывается, поэтому параметры $K_{уст.}$, β и α расчетных формул по впитыванию автоматически включают в себя испарение.

Таблица 2

Осредненная характеристика метрового слоя почвогрунта по механическому составу	Водопроницаемость	m по дефициту влаги: до ППВ от-до / сред.	$+\Delta m$ для поверхностного слоя	$+\Delta m$ на транспирацию в дни полива: сутки	$+\Delta m$ на транспирацию в дни полива: $м^3$/га	m нетто, полученная расчетом	Задавалось на ЭВМ: m нетто, принятая с округлением	Задавалось на ЭВМ: неравномерность увлажнения в % от m нетто (средней): начало борозд	Задавалось на ЭВМ: неравномерность увлажнения в % от m нетто (средней): в точке А	Задавалось на ЭВМ: неравномерность увлажнения в % от m нетто (средней): разница	Задавалось на ЭВМ: поливные нормы: начало борозд	Задавалось на ЭВМ: поливные нормы: в точке А
Почвы легкого механического состава (супесчаные), мощность I м с малой полевой влагоемкостью, возможно оскелеченные	А	500-550 / 525	50	0,5	20	595	600	II0	80	30	660	480
Промежуточные почвогрунты между типами А и Б	Б	600-650 / 625	75	I	40	740	750	II0	82,5	27,5	825	6I8
Средние почвогрунты серозем-ного пояса	В	750	I00	I,5	60	9I0	900	II0	85	25	990	765
Промежуточные почвогрунты между типами В и Д	Г	800	I25	2	80	I005	I000	II0	87,5	22,5	II00	875
Почвогрунты очень тяжелого мехсостава (глины), очень влагоемкие с большой порозностью, но слабоводопроницаемые	Д	850	I50	2,5	I00	II00	II00	II0	90	20	I2I0	990

Чтобы получить величину истинного увлажнения почвы, надо из расчетных эпюр высчитать интеграл, выражающий испарения с учетом многих факторов.

В начале полива испарение идет с уреза воды (с полосы В), в конце полива – с полосы u, которая на тяжелосуглинистых и глинистых почвах при узких междурядиях (0,6 м) совпадает с шириной междурядий a (рис.3).

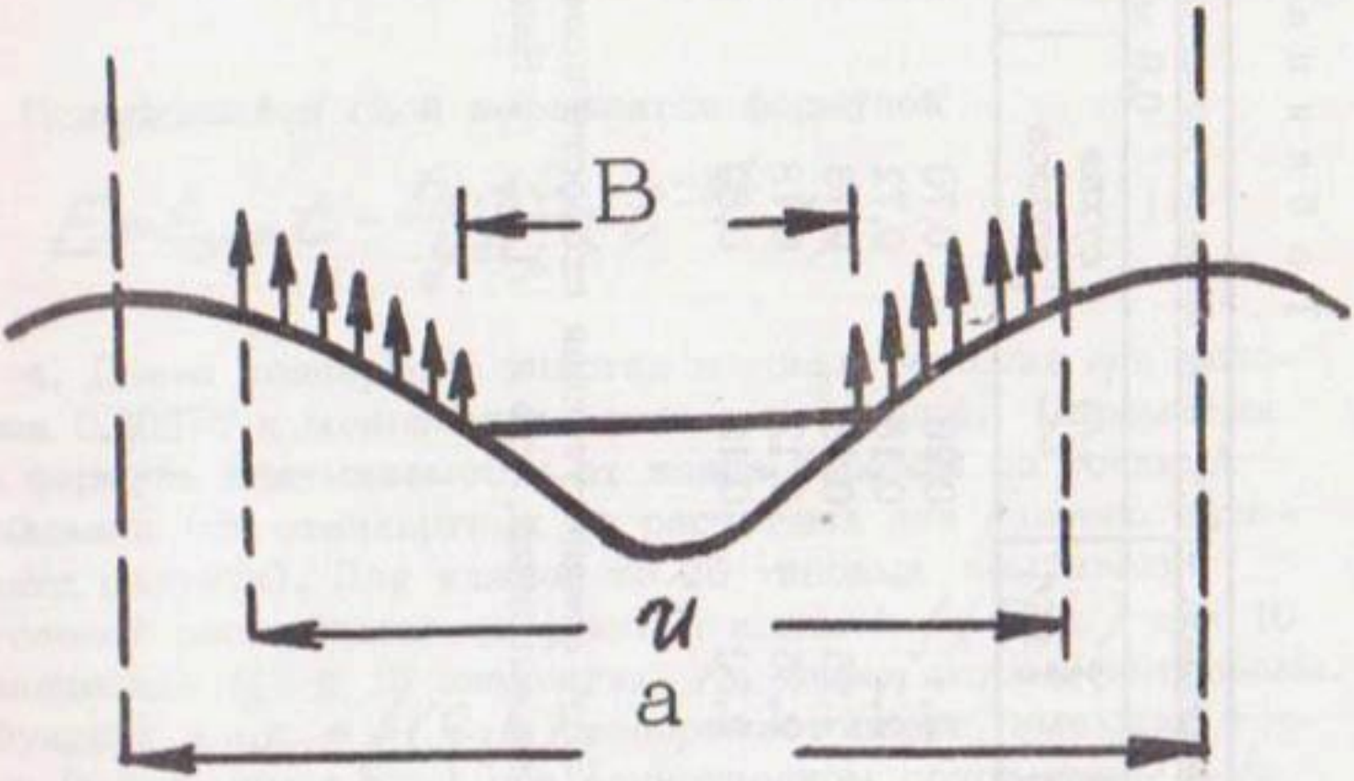


Рис. 3. Площадь испарения в конце полива

Отношение u/a представляет собой отношение испаряющей поверхности ко всей поверхности поля. В табл. 3 даны расчетные параметры по u, u/a и $\varepsilon_{уст}$ (установившаяся скорость испарения в конце полива, которая принята равной скорости испарения с водной поверхности, умноженной на коэффициент u/a).

Для основного хлопкового пояса Средней Азии суммарное испарение хлопкового поля в конце июня – начале июля, когда обычно проводят второй полив хлопчатника (принимаемый нами за расчетный), составляет 55–60 м^3/га в сутки, в том числе транспирация 35–40 м^3/га, а испарения еще полностью не затененной почвы 20 м^3/га. Но эти осредненные данные относятся в основном к межполивному периоду. Суммарное испарение с мокрого поля возрастает до 100–105 м^3/га за сутки, в основном, за счет испарения с поверхности всего поля.

Таблица 3

Почво-грунты	Среднесуточная скорость испарения, м³/ч, при ширине междурядий (а)							
	0,6 м				0,9 м			
	u	сухая полоса	u/a	$\xi_{уст.}$	u	сухая полоса	u/a	$\xi_{уст.}$
А	0,5	0,1	0,84	2,1	0,20	0,70	0,777	1,94
Б	0,52	0,08	0,88	2,2	0,18	0,72	0,800	2,00
В	0,54	0,06	0,9	2,25	0,15	0,75	0,833	2,08
Г	0,56	0,04	0,94	2,35	0,12	0,78	0,867	2,17
Д	0,6	Нет	1,0	2,50	0,10	0,80	0,890	2,23

Примечание. В расчете на ЭВМ среднесуточная скорость испарения вводилась испаряющимся слоем в м/ч, т.е. в тех же единицах, что и $K_{уст.}$. Например, 2,5 м³/ч с 1 га = 0,00025 м/ч.

Таким образом, испарение (без транспирации) с мокрого поля возрастает в три с лишним раза и достигает 60 м³/га в сутки, или 2,5 м³/ч.

Изменение скорости испарения с начала пуска воды до окончания полива принято нами по экспонентной зависимости

$$\varepsilon t = \varepsilon_{уст.} \frac{B}{a} + \varepsilon_{уст.} \frac{U}{a} (1 - \ell^{-yt}). \quad (10)$$

Испарившийся слой выражается формулой

$$E = \varepsilon_{уст.} t - \frac{\varepsilon_{уст.} U}{y \cdot a} (\ell^{-yt} - 1). \quad (11)$$

4. Длина подпорного участка в конце борозды для уклонов 0,00375 и менее определялась по табл.4. Параметры в формуле впитываемости от конца борозды до точки А убывали (от стандартных до расчетных для данного варианта расчета). Для каждой из 25 типовых комбинаций условий рассчитывалась функция к.п.д. = $f(q,h)$ при 10 значениях q и 15 значениях h через равные интервалы. Функция к.п.д. = $f(q,h)$ изображает парус, имеющий точку (максимум к.п.д.) при единственном сочетании q и h. Нормативные q и h окончательно выбирались из ближних в стандартном ряду q (0,05; 0,1; 0,15; 0,25; 0,4; 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5 л/с) и стандартном ряду h (50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550 м и т.д.). После этого на ЭВМ делался повторный расчет к.п.д. по назначенным q и h. Результат расчета сведен в табл.5.

Таблица 4

Зоны	Длина подпорного участка, м, при		
	уклонах	средних бороздах a = 0,6 м	глубоких бороздах a = 0,9 м
Ш	0,00375	25	33
IУ	0,00175	55	70
У	0,0005	200	250

Таблица 5

Уклоны, индекс, $i_{ср.}$	Водопроницаемость, индексы	Длина борозд L, м	Расход q, л/с	Время, ч: добе-га	Время, ч: доли-ва	Время, ч: всего T	m брутто, м³/га	m нетто, м³/га	К.п.д. и потери, %: к.п.д.	на испаре-ние	на фильтрацию	на сброс	Длина борозд L, м	Расход q, л/с	Время, ч: добе-га	Время, ч: доли-ва	Время, ч: всего T	m брутто, м³/га	m нетто, м³/га	К.п.д. и потери, %: к.п.д.	на испаре-ние	на фильтрацию	на сброс
		для междурядий 0,6 м											для междурядий 0,9 м, начиная с i = 0,00375 и менее										
I	А	40	0,I	5,7	2	7,7	II50	600	52	0,9	45,8	I,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$i_{ср.}$=	Б	75	0,I	8	6	I4	II20	747	66,7	2,5	26,9	4,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,04	В	I25	0,I	I0,2	I5,3	25	I220	893	73,I	2,7	II,7	I2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Г	I50	0,05	26	46	72	I440	988	68,6	7,I	I3,7	I0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Д	I75	0,05	I6	I04	I20	2060	I075	52,I	8,3	2,3	37,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
II	А	I00	0,5	I,I	2,I	3,2	960	600	62,5	0,4	20,2	I6,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$i_{ср.}$=	Б	I25	0,25	4,5	4,6	9,I	I090	748	68,7	I	I7,4	I2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0I	В	200	0,25	6	II	I7	I270	890	70,I	2	4,3	23,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Г	200	0,I	I4	38	52	I560	997	63,9	5	6,9	24,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Д	200	0,05	26	94	I20	I800	I097	60,9	9,7	6,I	23,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
III	А	I75	0,75	2,8	0,7	3,5	900	600	66,7	0,5	30,9	I,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$i_{ср.}$=	Б	275	0,75	3,5	2,4	5,9	965	747	77,4	0,8	II,5	I0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,005	В	325	0,5	5,5	7,5	I3	I200	898	74,8	I,3	I,9	22	450	0,5	I5	II,5	26,5	II76	970	82,5	3,05	5,6	8,85
	Г	400	0,25	I3	27	40	I500	I0I0	67,3	4,I	3,4	25,2	450	0,25	28	33,3	6I,3	I362	I062	78	6,68	3,7	II,62
	Д	375	0,I	40	60	I00	I600	II50	7I,8	I2,5	3,0	I2,7	400	0,I	76	8I	I57	I569	II84	75,6	I5,I	5,I	4,20
IУ	А	225	I,5	I,I5	I,I	2,25	900	600	66,7	0,3	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$i_{ср.}$=	Б	300	I	3,2	2	5,2	I040	750	72,I	0,7	I7,8	9,4	450	I,2	6	2,8	8,8	938	805	86	I,9	4,I	8,0
0,0I75	В	350	0,5	8	5	I3	II20	894	79,8	I,6	I2,I	6,5	600	0,75	I4	9,5	23,5	II75	986	83,9	2,76	4,34	9,0
	Г	425	0,25	I6	2I	37	I305	99I	75,9	4,4	7,8	II,9	650	0,35	37,5	24,5	62	I336	I090	8I,5	6,48	6,I8	5,84
	Д	400	0,I	43	57	I00	I500	I098	73,2	I0,7	II,5	4,6	550	0,I5	77	62	I39	I5I7	II88	78,3	I3,5	4,6	3,6
У	А	I50	I	I,8	0,5	2,3	920	600	65,2	0,4	34,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$i_{ср.}$=	Б	250	0,75	4,85	0,95	5,8	I040	750	72,I	0,9	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0005	В	350	0,5	I0,3	3,7	I4	I200	900	75	I,8	23,2	-	600	0,75	I7,4	3,8	2I,2	I060	922	87	2,7	I0,3	-
	Г	550	0,5	I4,5	9,5	24	I3I0	I000	76,3	2,8	I5,8	5,I	850	0,5	40,2	9,6	49,8	II73	I032	88	5,8	6,2	-
	Д	850	0,25	5I,5	26,5	78	I376	II00	80	9,5	I0,5	-	I000	0,3	84,0	3I,6	II5,6	I387	II70	84,4	II,38	2,45	1,77

По результатам многолетних исследований техники полива и водопользования во многих хозяйствах и районирования территории по приведенным выше классификациям уклонов и водопроницаемости почвогрунтов в табл.6 обобщены данные современного и перспективного использования оросительной воды в Узбекской ССР (в % от головного водозабора).

Поверхностное орошение в Средней Азии, ввиду его универсальности и достаточно высокого возможного в будущем к.п.д. останется основным способом полива. Исключение составляют лишь территории с повышенными уклонами, плохим рельефом и почвогрунтами повышенной водопроницаемости, на которых более рационально применять стационарное дождевание.

В Узбекистане в последние годы успешно внедряется механизация бороздкового полива хлопчатника на базе применения передвижных гибких поливных трубопроводов и поливных машин типа ППА-165. Ведутся исследования по гидравлической автоматизации полива.

В настоящее время полив переменным расходом частично осуществляется в ряде хозяйств посредством перехода от начального расхода в стадии добега q_1, на уменьшенный расход в стадии долива q_2. Последний, однако, остается постоянным до конца полива. Отношение расходов q_1/q_2 рекомендуется устанавливать от 1,5 до 3. Теоретически переход от q_1 до q конечного - непрерывная функция, которая определена на основе уравнений (1) или (2), решением их уже относительно q как неизвестного в пределах от t добега до T - окончания полива при $x = const$.

Расчеты q для различных почвенных условий и уклонов полей проведены на ЭВМ. Они показали, что к.п.д. полива значительно возрастает ввиду ликвидации сброса, значительного снижения потерь на глубинную утечку в начале борозды и некоторого снижения потерь на испарение в процессе полива (рис.4).

Таблица 6

№№ п/п	Показатель	Современное положение			Перспективное использование			Соотношение
		величины, % или доли единицы	в том числе потери		величины, % или доли единицы	в том числе потери		гр.6 / гр.3
			используемые	безвозвратные		используемые	безвозвратные	
I	2	3	4	5	6	7	8	9
I	Забор воды из источников орошения	I00	-	-	I00	-	-	-
2	Потери в межхозяйственной сети	I5	I4	I	4	3,3	0,7	0,27
	в том числе фильтрация и испарение	I4	I3,5	0,5	3,5	3	0,5	0,25
	технические сбросы	I	0,5	0,5	0,5	0,3	0,2	0,5
3	К.п.д. межхозяйственных систем	0,85	-	-	0,96	-	-	I,I3
4	Подача воды хозяйствам	86	-	-	96	-	-	I,I3
5	Потери во внутрихозяйственной сети	25	22,5	2,5	II	I0	I	0,43
	в том числе фильтрация, испарение	I8	I7,5	0,5	9	8,5	0,5	0,5
	организационные сбросы	7	5	2	2	I,5	0,5	0,29
6	К.п.д. внутрихозяйственной сети	0,7I	-	-	0,89	-	-	I,25
7	Технический к.п.д. ирригационной сети	0,60	-	-	0,85	-	-	I,4I
8.	Подача воды на поля	60	-	-	85	-	-	I,4I
9	Потери воды на полях (% от поданной воды на поле)	20(33,3)	6,4	I3,6	II,9(I4)	6,5	5,4	0,42
	в том числе испарение в процессе полива	I,8(2,9)	-	I,8	2(2,3)	-	-	0,79

I	2	3	4	5	6	7	8	9
	фильтрация в грунтовые воды	8,4(I4)	3,9	4,5	9,9(II,7)	6,5	5,4	0,84
	сбросы при поливах	9,8(I6,4)	2,5	7,3	-(-)	-	-	Нет
I0	К.п.д. техники полива	0,667	-	-	0,86	-	-	I,29
II	К.п.д. системы орошения	0,40	-	-	0,73	-	-	I,82
I2	Количество воды, поступающей в корнеобитаемый слой на эвапотранспирацию	40			73			I,82
I3	Возвратные воды и потери на непроизводственное испарение	-	42,9	I7,I	-	I9,8	7,2	0,46
	Учет использования возвратных вод в низовых системах							
Iа	Дополнительный головной водозабор в низовые системы (Показатели от 2-го до II-го остаются прежними, но I00 % будут уже составлять 42,9)	42,9	-	-	I9,8	-	-	0,46
I2а	Дополнительное поступление воды в корнеобитаемый слой	I7,2	-	-	I4,5	-	-	0,84
I2б	Общее поступление воды в корнеобитаемый слой, п.I2+п.I2а	57,2	-	-	87,5	-	-	I,53
I4	Народнохозяйственное значение к.п.д. (отношение показателя п.I2б к п.I)	0,572	-	-	0,875	-	-	I,53
I5	Неиспользуемые сбросы и подземный отток за пределы системы		42,9x0,429= =I8,4				I9,8x0,I98=3,9	0,2I

Продолжение табл.6

I	2	3	4	5	6	7	8	9
I6	Непроизводительное испарение всех видов, включая испарение пополняемых фильтрацией запасов грунтовых вод и транспирацию дикой растительностью на неиспользуемых землях в пределах систем			I7,I+42,9x0,I7I= =24,4			7,2+I9,8x x0,072=8,6	0,35
				Уточнение использования влаги на полях с учетом возрастания транспирации				
А	Агротехнический к.п.д. использования на полях искусственно созданной почвенной влаги - доля транспирации	0,65	-		0,67	-	-	I,03
Б	Потери на испарение почвой и транспирацию сорняков	0,35	-		0,33	-	-	0,94
В	Относительная величина транспирации в долях от водоподачи в корнеобитаемый слой: для перспективы с учетом шести поливов вместо пяти	65	-		$\frac{65x6x0,65}{5x0,67}$ =75,6		-	I,03
Г	Возможное относительное увеличение орошаемой площади при том же водозаборе, что и сейчас, т.е. чистые приросты площадей от мероприятий по повышению к.п.д. всех видов	$\frac{57,3}{65}$			$\frac{87,5}{76,6}$			I,3I

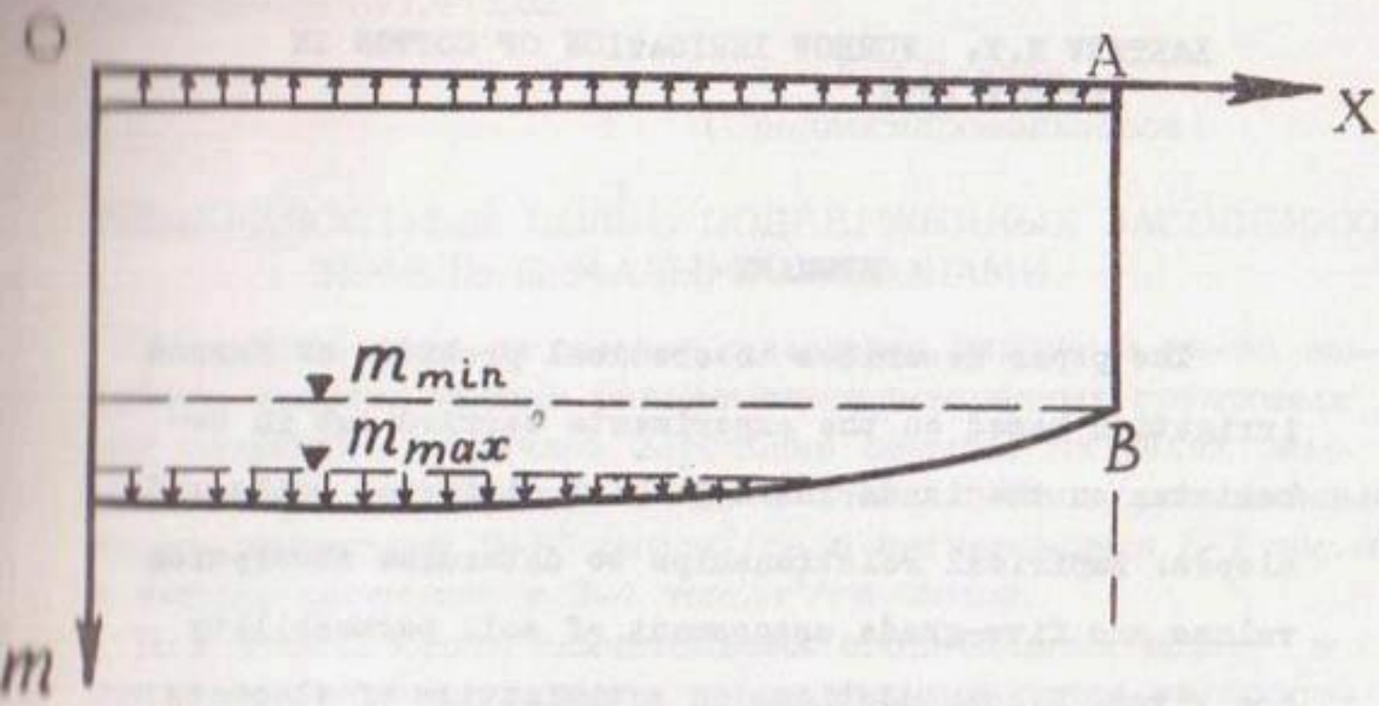


Рис. 4. Эпюра увлажнения в конце полива переменным расходом

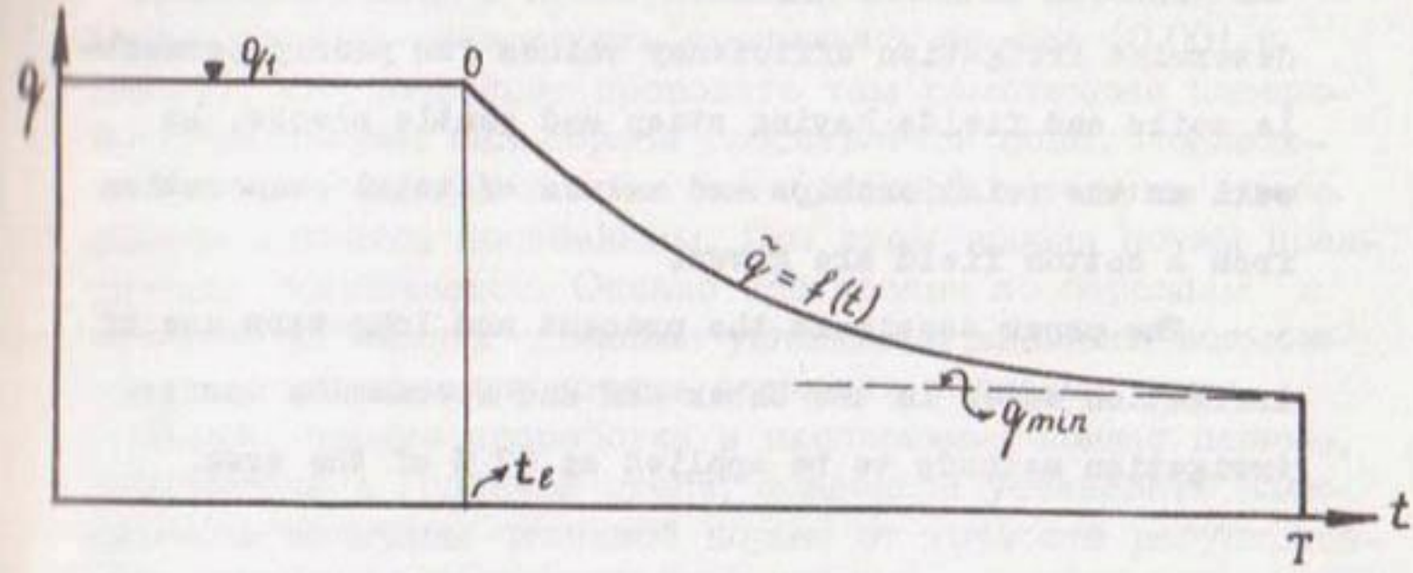


Рис. 5. Кривые $\tilde{q} = f(t)$, рассчитываемые на ЭВМ

Такой полив обеспечивает не только экономию воды, но и некоторое повышение урожайности, т.к. предотвращает вынос почвы за пределы поля и вымывание внесенных минеральных удобрений. ЭВМ выдает $\tilde{q}(t)$ в виде графика (рис.5). В перспективе при орошении могут широко использоваться устройства автоматизации бороздкового полива, действующие по заранее заданной программе.

LAKTAEV N.T. FURROW IRRIGATION OF COTTON IN MIDDLE ASIA

SUMMARY

The paper describes theoretical problems of furrow irrigation based on the experiments carried out in Uzbekistan on the lands known to have different soils and slopes. Empirical relationships to determine absorption values and five-grade assessment of soil permeability are given. Recommendations on optimization of elements of furrow irrigation methods are suggested, considering the types of slopes and permeability. The methodology to determine irrigation efficiency values for poorly permeable soils and fields having steep and gentle slopes, as well as the relationships and values of total evaporation from a cotton field are given.

The paper considers the present and lohg-term use of irrigation water in the Uzbek SSR and recommends surface irrigation methods to be applied on 87 % of the area.

УДК 626.84:631.445.52

Г.Н.Павлов
(Средазгипроводхлопок)

ПОВЕРХНОСТНЫЙ ПОЛИВ ПОДВЕРЖЕННЫХ ЗАСОЛЕНИЮ ЗЕМЕЛЬ С МАЛЫМИ УКЛОНАМИ

В аридной зоне на землях с малыми уклонами из-за высокого стояния уровня сильноминерализованных грунтовых вод возможно вторичное засоление земель. На таких землях требуется промывка почв. В этих случаях оросительные нормы достигают 8–10 тыс.м^3/га в летнее время, 5–7 тыс.м^3/га в период вегетации и 3–4 тыс.м^3/га зимой.

Для подачи столь значительных оросительных норм в аридной зоне практикуется поверхностный полив по бороздам и полосам, в связи с чем изучение и совершенствование этого способа полива не теряет актуальности.

Для пустынных и полупустынных районов характерны малые уклоны поверхности орошаемых земель (0,001 и менее), что позволяет проводить там самотечные поверхностные поливы без сброса оросительной воды. Подаваемый в борозды или полосы ток (расход) в течение всего полива остается постоянным. При этом эрозия почвы практически исключается. Однако при поливе по бороздам и полосам на землях с малым уклоном ограничены возможности регулирования подачи заданных поливных норм.

Теоретические проработки и экспериментальные данные, полученные в Голодной степи, позволили установить зависимость величины поливной нормы от точности регулирования водного режима и техники полива.

Анализ достаточно большого экспериментального материала показал, что при уклоне 0,001 и менее длина добегания воды по сухой борозде как функция времени хорошо описывается формулой А.Н.Костякова (1):

$$x = \frac{q t^{\alpha}}{\rho n K_0}, \qquad (1)$$

где q – расход в головной части борозды, м^3/ч;
x – длина пробега струи по сухой борозде (м) за время t (ч);

ρ – смоченный периметр борозды с учетом действия капиллярных сил, м;

n – поправочный коэффициент к скорости поглощения;

α – показатель степени в эмпирической формуле А.Н.Костякова, зависящий от свойств почвы и ее начальной влажности:

$$V_t = \frac{K_1}{t^{\alpha}}, \qquad (2)$$

V_t – скорость поглощения воды в момент времени t (ч);

K_1 – коэффициент водопроницаемости данной почвы в первую единицу времени (ч).

Среднее значение скорости просачивания за период времени t определится таким образом:

$$W = \frac{1}{t}\int_0^t \frac{K_1}{t^{\alpha}}\,dt = \frac{K_1}{1-\alpha}\,t^{1-\alpha} = \frac{K_0}{t^{\alpha}}, \qquad (3)$$

где $K_0 = \frac{K_1}{1-\alpha}$ – скорость просачивания воды в данную почву, средняя за первую единицу времени.

Из формулы (1) следует, что при прочих равных условиях на скорость продвижения воды по сухой борозде оказывает наибольшее влияние величина K_0, т.е. длина добегания воды обратно пропорциональна величине K_0.

Как известно, скорость впитывания воды почвой определяется также начальной влажностью (U) почвогрунта.

На рис.1 приведен график зависимости K_0 от начальной влажности верхнего метрового слоя почвогрунта, построенный на основании экспериментальных данных, полученных в Голодной степи.

По конфигурации кривая близка к теоретически вычисленной Дж.Р.Филипом [2]. Зависимость, представленная на рис.1, показывает, что начальная влажность почвы оказывает большое влияние на продвижение воды по бороздам. Справедливост этого заключения подтвердили опыты, проведенные на делянке с уклоном борозд 0,001. Так, при начальной влажности метрового слоя 18% время добегания воды на длину 400 м при расходе q = 2 л/с составило 2,8 часа, а при W = 16% увеличилось до 6,3 часа.

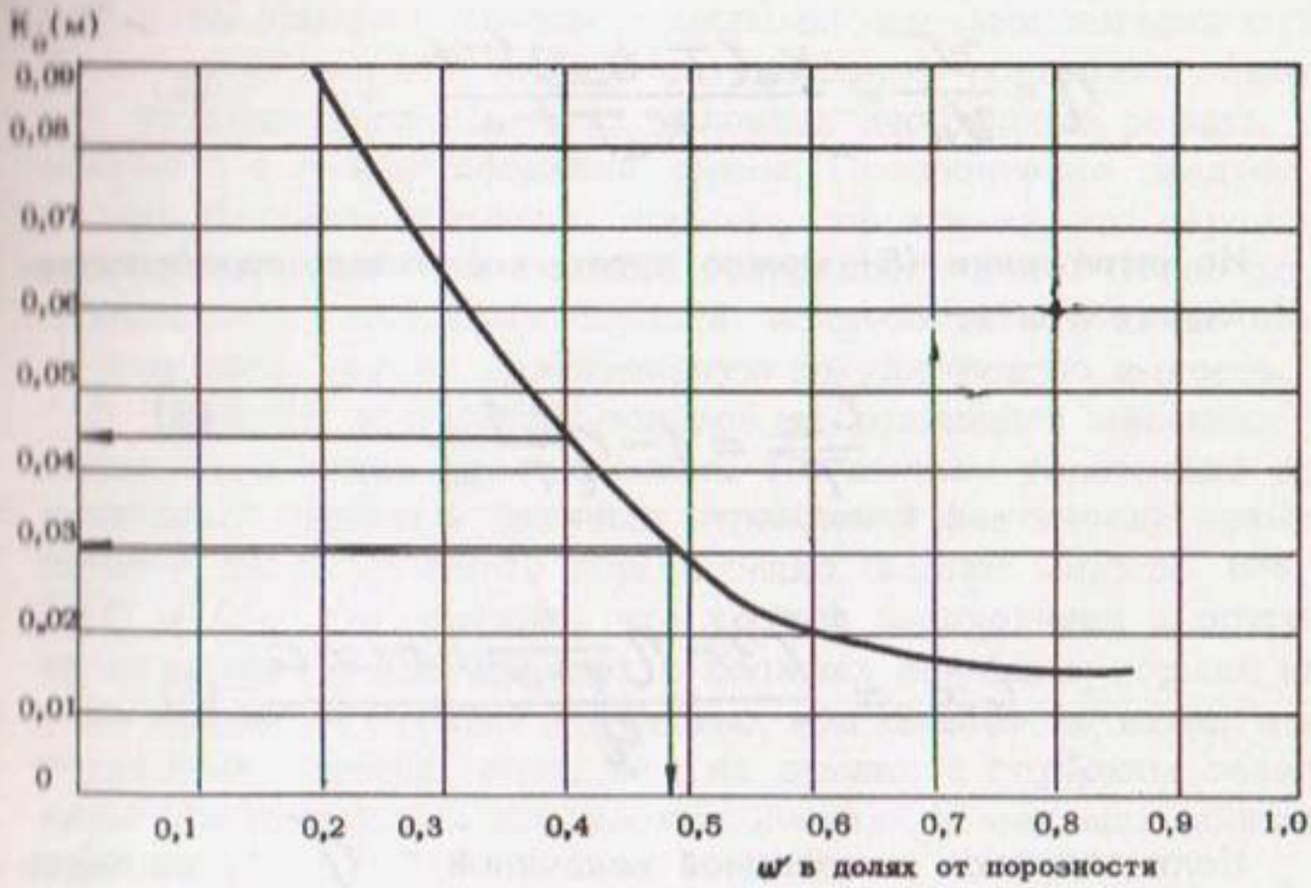


Рис.1. Зависимость K_o от влажности верхнего метрового слоя почвогрунта

Время добегания воды до конца борозды t_x должно обеспечивать равномерное увлажнение поливного участка. Характер зависимости увлажнения по длине борозды от времени добегания t_x можно установить из следующих соображений. Продолжительность полива определяется заданной поливной нормой:

$$T = \frac{mxa}{q}, \qquad (4)$$

где m – поливная норма (слой воды), м;
x – длина борозды, м;
a – расстояние между бороздами, м;
q – расход воды, подаваемой в борозду, $м^3/ч$.

Время добегания воды до конца борозды можно определить из формулы (1).

В начале борозды впитывается объем воды $W_н = K_o T^{1-\alpha}$, а в конце борозды $W_к = K_o (T - t_x)^{1-\alpha}$, следовательно, равномерность увлажнения по длине борозды:

$$\eta = \frac{W_к}{W_н} = \frac{K_o (T - t_x)^{1-\alpha}}{K_o T^{1-\alpha}} . \qquad (5)$$

Из выражения (5) можно путем несложных преобразований установить, что:

$$\frac{t_x}{T} = 1 - \eta^{\frac{1}{1-\alpha}} \qquad (6)$$

или

$$t_x = \frac{(1 - \eta^{\frac{1}{1-\alpha}}) \cdot m x a}{q} . \qquad (7)$$

Если задаться допустимой величиной " η ", то значение " m " следует понимать как минимально допустимую поливную норму.

Зависимость (7) показана в виде графиков на рис.2. При расчетах принята допустимая равномерность: η =0,8, α = 0,5. На том же графике нанесены кривые зависимости времени добегания t_x от начальной влажности W. Для построения этих кривых использован график зависимости K_o от начальной влажности (см.рис.1). Расчеты выполнены по формуле (1). Около каждой кривой на рис.2 выписаны значения расходов воды, подаваемых в борозду, при длине борозд 400 м. В скобках указаны расходы, соответствующие длине борозд 200 м.

На рис.2 показан возможный диапазон колебаний начальной влажности верхнего метрового слоя почвы с близким залеганием грунтовых вод перед поливом на полях. Даже такой незначительный диапазон колебаний начальной влажности приводит к очень большому диапазону изменений минимально допустимых поливных норм (от 1230 до 2560 м³/га) при длине борозд l = 400 м и q = 2 л/с (l = 200 м, q = 1,0 л/с).

Приведенные примеры показывают, что подобная закономерность сохраняется при любой длине борозд и при любой водопроницаемости почвогрунтов, иначе говоря, эта закономерность присуща землям с малыми уклонами поверхности. Таким образом, при выборе оптимального сочетания элементов техники полива в этих условиях необходимо решать вопрос о величине поливной нормы. Предпочтение следует отдать большим поливным нормам, поскольку это гарантирует равномерное увлажнение поверхности поля. Сброс воды исключается, поскольку борозда, если создать в конце поля подпор воды, имеет значительную регулирующую емкость.

В практике проведения поливов на равнинных массивах выявляется такая же тенденция. По данным управлений оросительных систем и научных учреждений фактически применяемые здесь поливные нормы редко бывают меньше 2000 $м^3$/га. Установлено, что урожай хлопчатника и других культур при редких поливах и больших поливных нормах на фоне высокого стояния грунтовых вод бывает не ниже, а в некоторых случаях выше, чем на землях с глубоким залеганием грунтовых вод при частых поливах и меньших поливных нормах.

Это объясняется тем, что на землях с глубоким залеганием уровня грунтовых вод доступная растению влага располагается только в зоне распространения корневой системы, а вся вода, которая после полива просачивается ниже этой зоны, для растений недосягаема, и поэтому может быть отнесена к оросительным потерям.

Расчет величины поливной нормы на землях с устойчиво глубоким залеганием уровня грунтовых вод ведется по формуле:

$$m = (W_1 - W_2) \cdot h_к \cdot a \,, \qquad (8)$$

где W_1 – предельная полевая влагоемкость почвы;
W_2 – минимально допустимая влажность почвы ($0{,}7 \div 0{,}6\ W_1$);
$h_к$ – глубина корнеобитаемого слоя;
a – объемный вес почвы.

Поливные нормы, вычисленные по формуле (8), не превышают 1200 $м^3$/га.

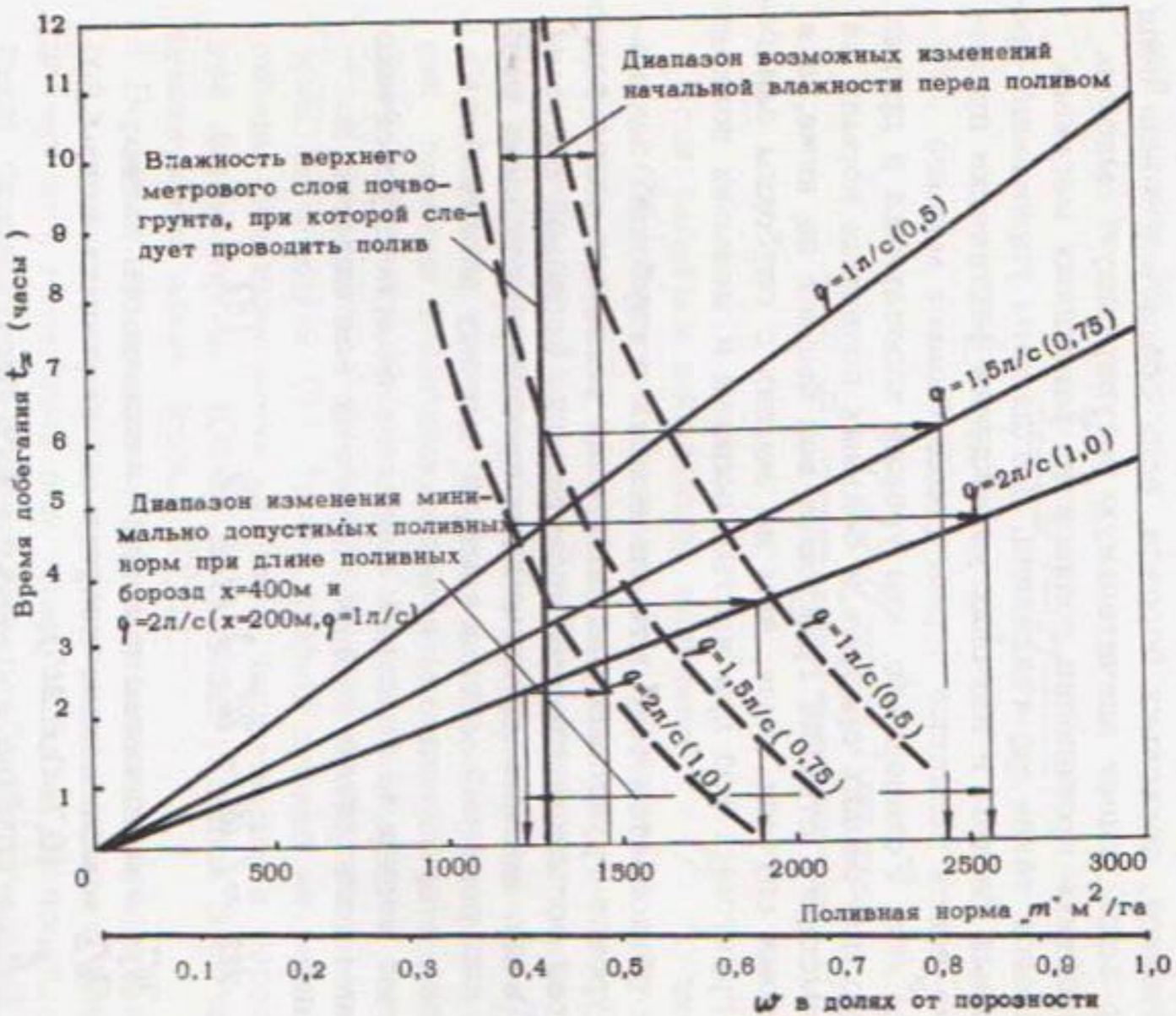


Рис. 2. Зависимость поливной нормы (——) от времени добегания t_x (- - - -) и времени добегания от исходной влажности ω

При высоком стоянии уровня грунтовых вод положение изменяется: над уровнем грунтовых вод формируется капиллярная кайма, которая при суглинистых и глинистых грунтах достигает высоты 2,5÷ 3,0 м. В пределах капиллярной каймы влага легко передвигается вверх под действием сил поверхностного натяжения, поэтому в водоснабжении участвует зона, превышающая мощность корнеобитаемого слоя.

Для каждого типа почвогрунтов можно как теоретически, так и экспериментально установить зависимость влагосодержания в корнеобитаемой зоне и в зоне аэрации от глубины стояния уровня грунтовых вод. На основании таких зависимостей можно вычислить величину поливной нормы. Так был проведен расчет поливной нормы для условий Голодной степи. Исходные данные получены на тех же участках, где проводились опыты по изучению элементов техники полива. Экспериментально установлено, что при стоянии уровня грунтовых вод на глубине 2,1 м в верхних почвенных горизонтах влажность близка к W_1 (предельная полевая влагоемкость). Минимально допустимая влажность почвы наступает при опускании уровня грунтовых вод до 2,8 м. Зависимость свободной емкости зоны аэрации от уровня стояния грунтовых вод выражается эмпирической зависимостью:

$$W = 615\, y^2 (м^3/га). \quad (9)$$

Величину поливной нормы можно вычислить как разность свободных емкостей зоны аэрации при положении грунтовых вод на глубине 2,1 и 2,8 м:

$$m = 615\ (2{,}8^2 - 2{,}1^2) = 2100\ м^3/га.$$

Таким образом, высокий уровень грунтовых вод создает предпосылки для применения больших поливных норм. В этом случае за один полив в почве создается значительный запас доступной растениям воды, что позволяет предохранить растения от увядания в критический период их развития, что особенно важно при горячих ветрах во время вегетационного периода. Большие поливные нормы обеспечивают получение более высоких и устойчивых урожаев при высоком стоянии грунтовых вод. О пользе применения больших поливных норм свидетельствуют также данные наблюдений и теоретически

обоснованные расчеты перемещения солей из грунтовых вод в зону аэрации и их накопления в корнеобитаемом слое (соленакопление обратно пропорционально величине поливной нормы).

Литература

1. Костяков А.Н. Основы мелиорации. М., Сельхозиздат, 1960.
2. Филип Дж.Р. Теория инфильтрации. - В кн.: "Изометрическое передвижение влаги в зоне аэрации". М., Гидрометеоиздат, 1972.

PAVLOV G.N. SURFACE IRRIGATION OF GENTLY SLOPING SALT-AFFECTED LANDS

SUMMARY

Theoretical studies and data of experiments obtained on gently sloping salt-affected lands of the Golodnaya Steppe permitted to derive the relationships between the water application rate, accuracy of the water regime control and irrigation technique, with due regard to the length and time of water running through a dry furrow and rates of water penetration and saturation.

Recommendations on water application rates calculations dependent on dynamics of ground water table occurrence are suggested. Heavy rates are advised under shallow ground water table occurrence.

УДК 626.84:634.83

Канд.техн.наук В.А.Сурин
(МГМИ)

ОРОСИТЕЛЬНАЯ СЕТЬ ДЛЯ ПОЛИВА ВИНОГРАДНИКОВ НА КРУТЫХ СКЛОНАХ

В Советском Союзе из общей площади виноградников более 1 млн.га орошается 330 тыс.га /1,2/.

В перспективе для обеспечения населения виноградом площадь виноградников необходимо довести до 2,4–2,6 млн.га, то есть увеличить на 1,3–1,5 млн.га. При сохранении процента орошаемых виноградников прирост орошаемых земель должен составить около 400–450 тыс.га. Значительный резерв расширения площади орошаемых виноградников кроется в освоении каменистых и маломощных почв на крутых склонах, малопригодных для возделывания пропашных культур.

Каменистые почвы имеют довольно широкое распространение: в Узбекистане их площадь более 6 млн.га, в Таджикистане около 200 тыс.га, в Киргизии – 400–440 тыс.га /3; 4/, их много в республиках Закавказья (особенно в Армении), а также на Северном Кавказе и в Казахской ССР.

Опыт показал, что при орошении земель с каменистыми и маломощными почвами наиболее выгодно выращивать на них виноград.

Московский гидромелиоративный институт с 1963 г. исследует режим орошения и технику полива виноградников на землях с бо́льшими уклонами и каменистыми почвами. Для опытов выбраны сильнокаменистый с уклонами 0,02–0,03 Самгарский массив, расположенный в Ходжентском районе Таджикской ССР, и сильнокаменистый с уклонами 0,04–0,06 Аркинский массив в Киргизской ССР. Опыты проводятся как на виноградниках, так и в садах, в основном айвовых.

В почвах Самгарского массива содержится 40–70% частиц размером более 3 мм. Скелетная часть их представлена щебенкой, дресвой и крупным песком. Частиц крупнее 10 мм содержится в пахотном горизонте около 20%, а в подпахотном (до глубины 120 см) – около 40%. Во фракциях крупнее 10 мм преобладают частицы размером 30–50 мм.

Частицы размером 0,5–3 мм составляют 30–40%. В почвах Аркинского массива содержится 15–85% каменистых частиц.

Водоудерживающая способность метрового слоя почвы Самгарского массива равна 1200–1600 м^3/га и Аркинского массива – 400–2100 м^3/га. На таких почвах в течение вегетационного периода сады и виноградники необходимо поливать 9–14 раз при норме 800–500 м^3/га. Продолжительность каждого полива, в зависимости от водопроницаемости почвы, колеблется от 2 до 27 часов.

Оптимальный межполивной период для винограда в середине вегетации равен 10–12 дням. Полив производится по бороздам при растоянии между ними 1,25–1,50 м. Длина поливных борозд на виноградниках принимается кратной расстоянию между межклеточными дорогами. Это расстояние обычно равно 100 м, а длина борозд – 100, 200 и реже 300, 400 м. На больших уклонах (0,02–0,06) и сильнокаменистых почвах, когда содержание фракций более 3 мм составляет около 50–85%, длина борозд чаще всего равна 100 м. Расход поливных струй здесь достигает 1–2 л/с.

При меньшем содержании в почве каменистых частиц (до 40–20%) и соответствующем увеличении содержания мелкоземистых частиц скорость впитывания уменьшается. В этом случае при тех же уклонах длину борозд увеличивают до 200 м, а расход поливных струй уменьшают до 0,6–0,2 л/с.

При частых поливах малой продолжительности, большой скорости впитывания и больших поливных струях на сильнокаменистых почвах требуется такая техника полива, которая позволяет оперативно управлять поливным током воды на поле и резко сократить потери оросительной воды на фильтрацию.

Московским гидромелиоративным институтом разработана техника бороздкового полива садов и виноградников из закрытой оросительной сети с использованием перфорированного поливного трубопровода, предложенного академиком И.А.Шаровым /5/. При уклонах более 0,004 напор в этой сети создается за счет естественного уклона местности. При меньших уклонах необходима механическая подкачка воды.

Внедряются две основные схемы самонапорной закрытой оросительной сети: продольная и поперечная.

Продольная схема оросительной сети (рис.1) рекомендуется для полива виноградников при уклонах от 0,004 до 0,03-0,06 и размещении рядов вдоль склона. Сеть состоит из закрытых распределительных и поливных трубопроводов. Распределительные трубопроводы прокладывают в междурядьях вдоль склона, а поливные - поперек склона вдоль межклеточных дорог. В начале распределительных трубопроводов устраивают водозаборные сооружения с сороудерживающей сеткой. Длина распределительных трубопроводов 1,5-2,5 км, поливных - 150-250 м. Расстояние между распределительными трубопроводами 300-500 м, а между поливными - 100-200 м (в зависимости от длины борозды). Глубина заложения распределительных трубопроводов (до верха трубы) 0,7-1,0 м, поливных - 0,4 м.

Длину поливных трубопроводов назначают в зависимости от величины поливных струй: при больших поливных струях (1,5-0,8 л/с) ее принимают равной 150 м, а при небольших (0,7-0,1 л/с) - 200-250 м. Трубопроводы проектируют, как правило, телескопическими. Диаметры их определяют гидравлическим расчетом. Поливные трубопроводы имеют отверстия в створе каждого ряда виноградника. Над отверстиями устанавливают патрубки длиной 55 см из гофрированных полиэтиленовых труб диаметром 100-125 мм (рис.2). В верхней части патрубков для слива воды вырезают отверстия диаметром около 70 мм. Число отверстий соответствует числу борозд в междурядии.

Для промывки поливных трубопроводов в конце их монтируют специальные задвижки, представляющие собой металлический патрубок с крышкой на конце.

Напоры в поливных трубопроводах принимают, исходя из напоров в распределительном трубопроводе (за вычетом потерь на вход), но не более 3-4 м вод.ст. Если действующий напор над уровнем воды в патрубке больше, то вытекающие из поливных отверстий трубопровода струи могут фонтанировать, что недопустимо. Верхние ярусы поливных трубопроводов нужно проектировать таким образом, чтобы напоры в них были не менее 0,1-0,2 м вод.ст. Поливную струю для верхнего яруса обычно принимают постоянной, а длину борозды - не более 100 м.

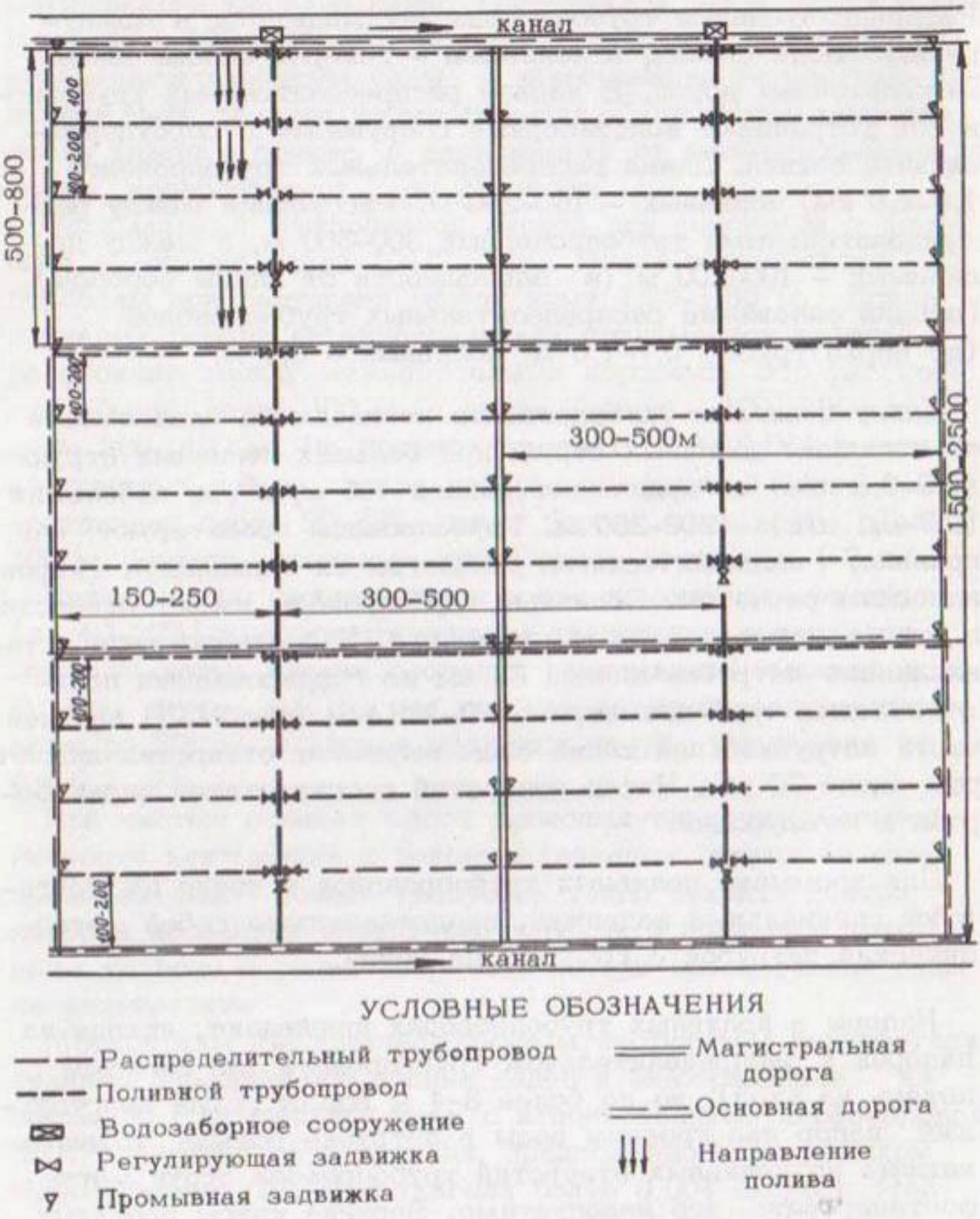


Рис. 1. Продольная схема самонапорной стационарной оросительной сети с закрытыми распределительными и поливными трубопроводами (для полива виноградников и садов на уклонах от 0,004 до 0,03–0,06)

В поливных трубопроводах с напорами от 1 до 3–4 м вод.ст. величину поливной струи в процессе полива можно изменять в два раза при помощи регулирующей задвижки, установленной в начале трубопровода.

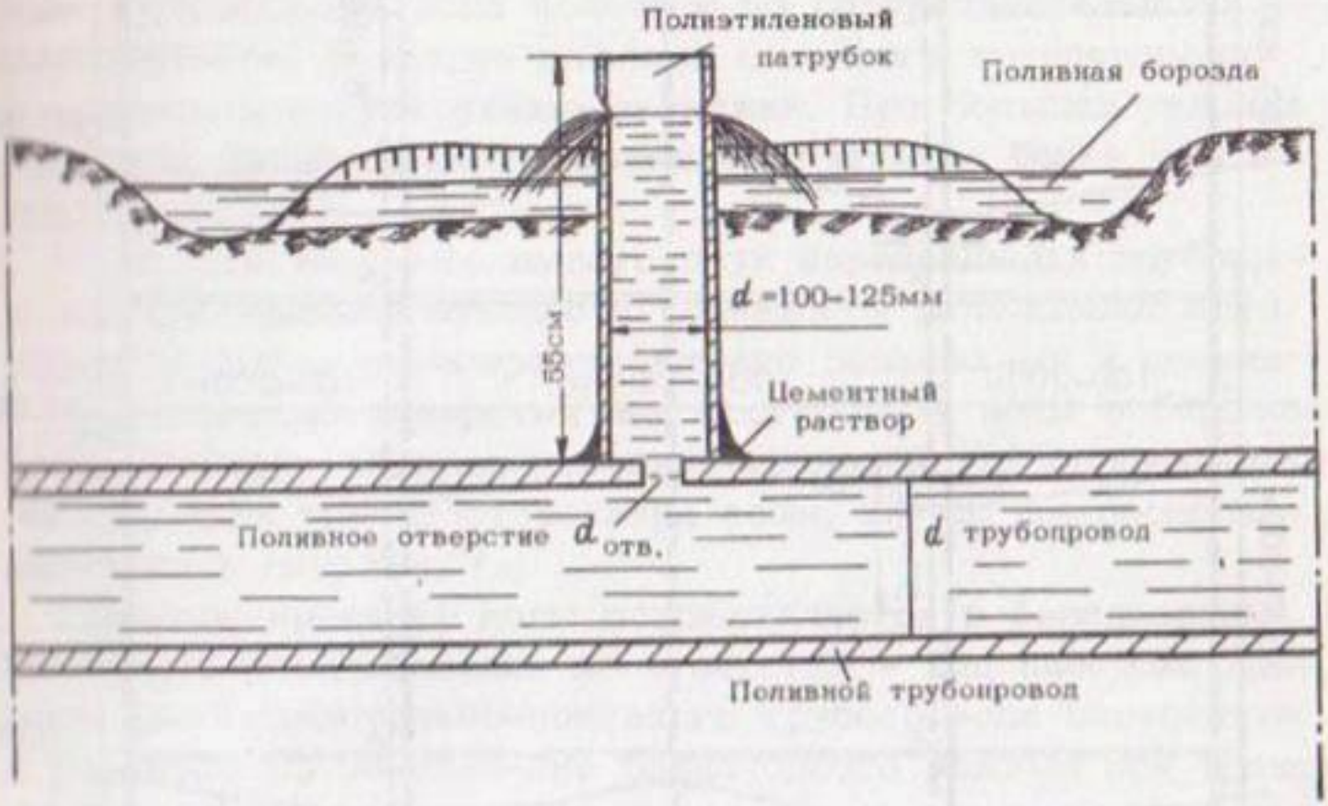


Рис. 2. Патрубок-водовыпуск над отверстием поливного трубопровода

Продольную схему оросительной сети можно применять на мелкоземистых почвах при уклонах местности от 0,004 до 0,03 и на каменистых почвах при уклонах от 0,004 до 0,06.

Поперечная схема оросительной сети рекомендуется для полива виноградников при уклонах местности больше 0,03–0,06 и размещении рядов поперек склона. Конструктивно эта схема может быть выполнена по двум вариантам.

В первом варианте распределительные и поливные трубопроводы укладывают параллельно друг другу вдоль склона (рис.3). Длина распределительных трубопроводов 1,5–2,5 км, а расстояние между ними равно двойной длине поливной борозды (обычно 200–400 м). Длину поливных трубопроводов принимают от 30 до 100 м, в зависимости от уклона местности, причем разность отметок поверхности земли в начале и в конце поливного трубопровода не должна превышать 2–3 м.

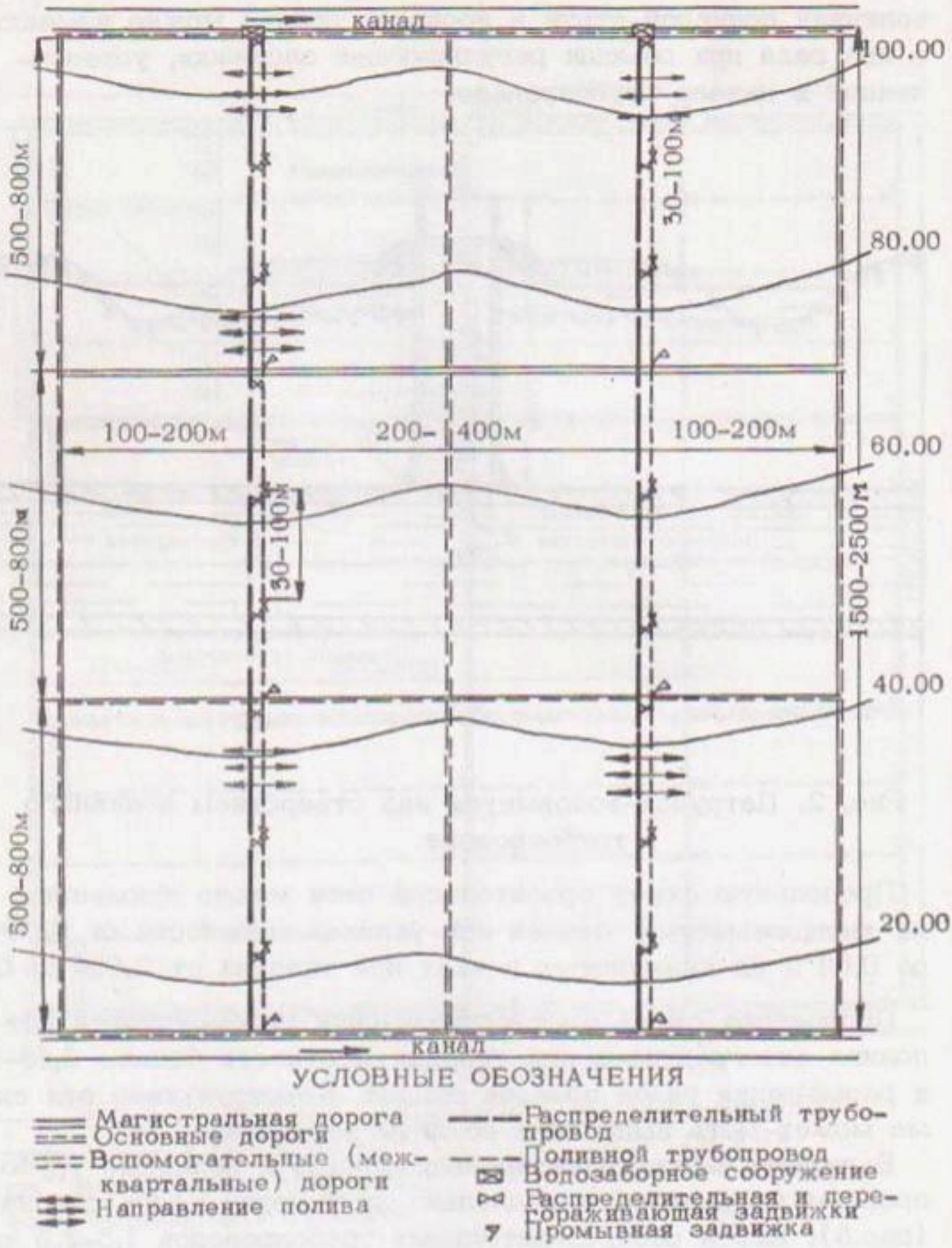


Рис. 3. Поперечная схема стационарной оросительной сети с закрытыми распределительными и поливными трубопроводами (для полива садов и виноградников на уклонах >0,03-0,06)

Поливные трубопроводы монтируют из труб одного диаметра (100 или 141 мм). Прокладывают их в одну нитку: конец предыдущего трубопровода посредством задвижки "Лудло", предназначенной для его промывки, подсоединяют к началу последующего поливного трубопровода. В поливные трубопроводы вода подается из распределительного трубопровода. В начале каждого поливного трубопровода установлены регулирующие задвижки. При больших уклонах величину поливной струи можно изменять не более чем в полтора раза.

Во втором варианте вместо двух параллельных трубопроводов (распределительного и поливного) укладывают один, через 50-100 м перегораживают его задвижками и сверлят в нем поливные отверстия для поступления воды в борозды (рис.4). Этот распределительно-поливной трубопровод служит как для транспортирования воды, так и для распределения ее в борозды.x)

Транспортирование воды осуществляется в безнапорном режиме, а распределение из отверстий - под напором. Диаметр распределительно-поливного трубопровода определяют с расчетом на обеспечение безнапорного режима при транспортировании воды по нему и ограничения скоростей в пределах до 3 м/с при напорном режиме движения воды на участках распределения. Диаметры поливных отверстий определяют путем расчета, исходя из условия равномерного распределения воды на каждом участке трубопровода между соседними задвижками.

Перед пуском воды в трубопровод обычно все задвижки на нем закрывают. В момент пуска открывают головную задвижку на такую величину, чтобы из первого поливного отверстия выходил расчетный расход воды. После окончания полива из первого участка трубопровода открывают перегораживающую задвижку в конце его, в результате чего на этом участке устанавливается безнапорный режим движения воды, а второй участок заполняется водой, которая под напором начинает равномерно изливаться из поливных отверстий. После окончания полива из второго участка трубопровода открывают перегораживающую задвижку в конце его и так далее.

---

x) Авторское свидетельство № 357933.

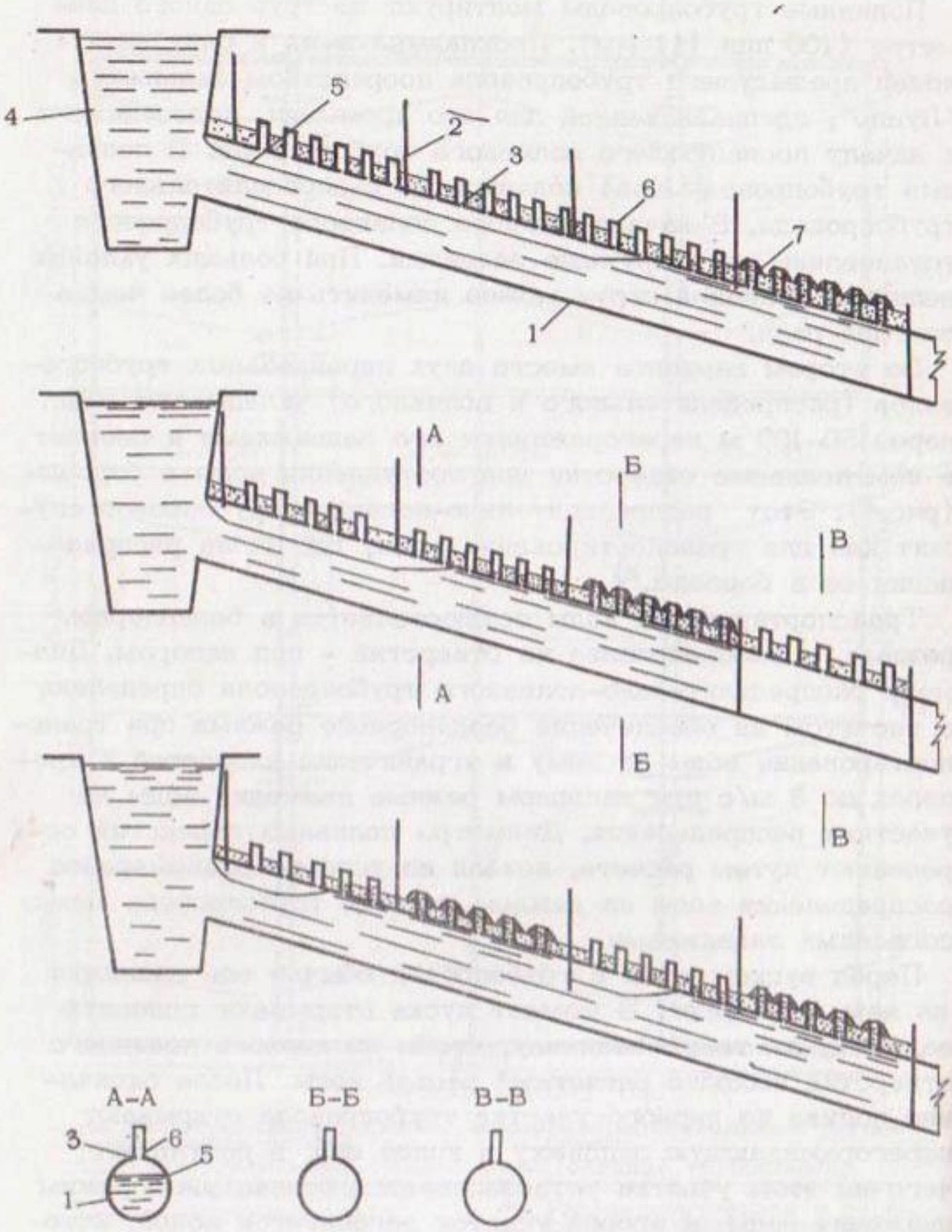


Рис. 4. Распределительный поливной трубопровод: 1–распределительный поливной трубопровод; 2–перегораживающая задвижка; 3–поливное отверстие; 4–канал или лоток; 5–свободная поверхность воды в трубопроводе; 6–патрубки над отверстиями; 7– излив воды из патрубков

Расход воды, подаваемой в трубопровод, должен быть равен расходу, вытекающему из отверстий. Напор в начале участков распределения принимают равным 0,1-0,3 м вод.ст., а в конце участков (значительно больший) определяют путем расчета.

К 1973 г. самонапорная оросительная сеть для полива виноградников построена на площади 750 га в садвинсовхозах "Самгар" и им.Хамзаалиева Ходжентского района Таджикской ССР. Основные технико-экономические показатели этой сети приведены в таблице.

Дополнительные капитальные вложения, приведенные в таблице (1000 руб/га), относятся к продольной схеме сети, выполненной из высоконапорных асбестоцементных труб марки ВТ-9. При поперечной схеме сети, выполненной по второму варианту, капитальные вложения снижаются до 700 руб/га

Дальнейшего повышения экономической эффективности закрытой оросительной сети можно достичь путем применения низконапорных труб марки ВТ-3 и ВТ-6, а также автоматизации и программирования подачи требуемых расходов воды. На первом этапе программирования регулирование расхода воды, подаваемой в поливной трубопровод, можно осуществлять по заранее разработанному графику поливов при помощи задвижки с электродвигателем и датчика давления. Управление работой задвижек может быть дистанционным (путем подачи электрических сигналов из центра управления поливом). На втором этапе программирования можно использовать датчики влажности почвы.

Закрытая оросительная сеть трубопроводов принята в проектах орошения виноградников Аштского, Самгарского и Кизилинского массивов Таджикской ССР и Аркинского массива Киргизской ССР.

В перспективе самонапорную стационарную оросительную сеть целесообразно применять для полива виноградников на каменистых и маломощных землях, аналогичных землям Самгарского и Аркинского массивов. Закрытая оросительная сеть может использоваться и для орошения садов.

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ САМОНАПОРНОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ДЛЯ ПОЛИВА ВИНОГРАДНИКОВ

Показатель и единица измерения	Обозначения и формулы	Численные значения показателей на I га		
		до внедрения закрытой сети	после внедрения закрытой сети	изменения в результате внедрения
Валовая продукция (7-летний виноградник)	ВП	50	68	+I8
Стоимость годовой продукции, руб.	Ц	I250	I700	+450
Дополнительные капитальные вложения, руб.	ДК	-	I000	+I000
Продуктивность дополнительных капитальных вложений, руб/руб	$\frac{Ц}{ДК}$	-	-	0,45
Суммарные годовые издержки, руб.	С	970	988	+I8
Себестоимость продукции, руб/ц	Сб.	I9,4	I4,5	-4,9
Коэффициент земельного использования	КЗИ	0,88	0,94	+0,06
Количество оросительной воды, поступающей из источника, $м^3$	$W_{бр}$	22300	I3400	-8900
Оросительные нормы, $м^3$ (подано на поле)	$М_{нт}$	I6000	I0000	-6000
Продуктивность оросительной воды, кг/$м^3$	$\frac{ВП}{W_{бр}}$	0,22	0,5I	+0,29
Производительность труда на поливах, га/смену	ПТ	3-4	8-I2	+5+8
Прибыль, руб.	П=Ц-С	280	7I2	+432
Коэффициент рентабельности дополнительных капиталовложений, руб/руб	$Э_{кп}=\frac{ДП}{ДК}$	-	-	0,43
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений, лет	$Т_{кп}=\frac{ДК}{ДП}$	-	-	2,3
Уровень рентабельности, %	$У_р=\frac{Ц-С}{С}$ x I00	29	72	+43

Литература.

1. Народное хозяйство СССР 1922-1972 гг. Юбилейный статистический ежегодник. М., Статистика, 1972.
2. Площадь, валовой сбор и урожайность плодоягодных и виноградных насаждений на орошаемых землях в колхозах и государственных хозяйствах в 1971 г. М., ЦСУ СССР, 1972.
3. Мамытов А.М. Почвенные ресурсы и вопросы земельного кадастра Киргизской ССР. Фрунзе, 1971.
4. Шувалов С.А. Почвы Узбекской ССР, том 1, Ташкент, 1944.
5. Шаров И.А. Эксплуатация гидромелиоративных систем. М., Сельхозгиз, 1959.

BURIN V.A. IRRIGATION NETWORK FOR IRRIGATING VINEYARDS ESTABLISHED ON STEEP SLOPES

SUMMARY

A solid-set gravity irrigation network is developed to provide furrow irrigation of vineyards and orchards on steep slopes and stony soils. The network comprises buried distributing pipelines laid along the slope and buried irrigation pipelines laid across plantation rows along roads. Several schemes and designs of a subsurface irrigation network are elaborated which, as compared to an open network in an earth channel, permit the reduction of the consumption of irrigation water by 1.5-2 times; the raising of the labour efficiency in irrigation by 2.5-3 times, land use factor by 6-7%, grape yields by 20-30%. Additional capital investments (900-1100 rbl./ha)are repaid by the additional profits (300-450 rbl./ha) in 2-3 years.

УДК 631.67.633.63

Кандидаты техн.наук В.Ф.Носенко
(ВНИИМиТП),
Н.Ю.Креккер (КазНИИВХ)

КОМБИНИРОВАННЫЕ ПОЛИВЫ

Комплекс природно-хозяйственных условий, характеризующих участок орошения, определяет выбор способа полива в течение вегетации [1]. Так, в условиях юга Казахстана при выращивании сахарной свеклы в начале вегетации достаточны малые поливные нормы (300–400 м³/га), которые наиболее целесообразно вносить дождеванием. В середине вегетации, в условиях термически наиболее напряженного периода, необходимо глубокое промачивание почвы и, следовательно, поливы по бороздам. В конце вегетации из-за смыкания листовой поверхности нельзя хорошо провести нарезку борозд или подправить их, поэтому целесообразнее применять дождевание.

Используя в течение сезона различные способы полива, в определенных условиях можно существенно повысить урожайность сельскохозяйственных растений по сравнению с урожайностью, достигнутой с помощью дождевания или поливами по бороздам. Так, опыты, проведенные в 1963–1971 гг. Казахским НИИ водного хозяйства (КазНИИВХ), показали, что сочетание поливов сахарной свеклы дождеванием и по бороздам повышает урожайность на 15% [2]. Однако осуществление такого сочетания поливов связано с применением на одном и том же участке различной техники полива. Поэтому в опытах на производственном участке площадью более 10 тыс.га для полива использовались дождевальные агрегаты ДДА-100М, оснащаемые дополнительным сменным оборудованием для полива по бороздам [3]. Это несколько увеличило стоимость проведения полива, но обеспечило получение экономического эффекта за счет повышения урожая.

Необходимо отметить, что чередование различных способов полива позволяет лишь выбрать для каждого периода наиболее эффективный способ, не устраняя этим присущих каждому способу недостатков. Так, сахарную свеклу (по опытам КазНИИВХ) наиболее целесообразно в середине

вегетации поливать по бороздам, но при этом существенно уменьшается относительная влажность воздуха (по сравнению с дождеванием), что ухудшает условия жизни растений. При замене в процессе вегетации одного способа полива другим уменьшается глубина промачивания или атмосферная влажность. Поэтому целесообразно при каждом поливе вносить часть воды дождеванием и часть – по бороздам, т.е. применять комбинированный полив, что позволит в определенной мере улучшить условия развития растений и повысить их урожайность.

Для проведения комбинированных поливов удобно использовать двухконсольные агрегаты. КазНИИВХ в последние годы разработал несколько модификаций машин для комбинированного полива, обеспечивающих проведение поливов дождеванием и по бороздам без изменения организации территории, труда и водопользования.

В течение 1967–1971 гг. в КазНИИВХе изучалось влияние комбинированных бороздково-дождевальных поливов на рост и развитие сахарной свеклы. Опыты проводились в лабораториях, на опытных делянках и в производственных условиях. При этом сравнивались комбинированный полив по бороздам (с внесением при каждом поливе 10–25% воды дождеванием), дождевание и полив по бороздам, проводимые в те же сроки с одинаковыми оросительными нормами. При всех вариантах для полива использовался двухконсольный бороздково-дождевальный агрегат. Комбинированный полив этим агрегатом проводился последовательно: дождеванием при движении агрегата и по бороздам с одной позиции. Соотношение поливных норм, вносимых каждым способом, обеспечивалось продолжительностью работы агрегата на позиции в режиме полива по бороздам и количеством проходов агрегата между позициями при работе в режиме дождевания.

Район, где проводились опыты, типичен для южных областей Казахстана и характеризуется резко континентальным климатом. Средняя норма осадков за период вегетации (апрель–сентябрь) составляет 132 мм. Отличительной особенностью теплого периода явились высокие (до +40°С) температуры днем и низкие (до +7 – +9°С) ночью, низкая (20–25%) относительная влажность днем и высокая (до насыщения) ночью. Средние месячные скорости ветра за время

вегетации колебались от 1 до 3 м/с. Слабоминерализованные грунтовые воды залегают на глубине 3–5 м. Почвы – луговые тяжелосуглинистые сероземы.

Проведенными в лабораторных условиях исследованиями установлено, что комбинированные поливы сахарной свеклы способствуют более интенсивному росту листовой поверхности и корневой массы растений. Фазовое развитие их проходило с опережением до трех дней после появления пятой пары листьев по сравнению с обычными способами полива.

Средняя относительная влажность воздуха на высоте 30 см в течение трех–четырех дней после комбинированного полива была на 3–8% больше, чем при поверхностном поливе, а после трех поливов – даже выше, чем при дождевании. Это связано, по-видимому, с тем, что при комбинированном поливе за межполивной период наблюдался пониженный (на 2–6%) по сравнению с дождеванием расход влаги на испарение из почвы. Вследствие этого, при дождевании к середине вегетации влажность почвы, которая в большой мере определяет относительную влажность воздуха, значительно снизилась.

В результате улучшения режима влажности почвы и приземного слоя воздуха на участках комбинированного полива наблюдался более интенсивный рост и развитие растений. Так, урожай сахарной свеклы повысился на 60–160 ц/га по сравнению с урожаем, получаемым при дождевании или поливе по бороздам в равных условиях.

Комбинированный полив способствует уменьшению содержания вредного азота и зольных элементов в корнеплодах по сравнению с обычными способами полива (по данным опытов соответственно с 0,08–0,12% до 0,02–0,04% и с 0,53–0,57% до 0,16–0,49%). Однако при комбинированном поливе сахаристость свеклы стала ниже по сравнению с поливом по бороздам или дождеванием. В 1968 г. при дождевании сахаристость корнеплодов была 20,5%, при поливе по бороздам – 20,7, а при комбинированном поливе – 18,2–19,8%. Опытами установлено, что для повышения сахаристости необходимо при проведении последних поливов снизить норму дождевания до 10% общей поливной нормы. Это усилит увядание листьев, вес которых к периоду уборки обратно пропорционален сахаристости корнеплодов сахарной свеклы.

На участках комбинированных поливов содержание в почве подвижных форм N PK к концу вегетации снижается в 1,3-2,0 раза по сравнению с поливами только дождеванием или по бороздам. В 1968 г. к концу вегетации содержание в почве N_2O_3, K_2O и P_2O_5 составило, мг/кг: при комбинированном поливе-8,11; 256,0 и 29,0; при поливе по бороздам-10,35; 336,0 и 34,0; а при дождевании-19,67; 452,0 и 52,0. Это можно объяснить повышением урожайности при комбинированном поливе.

Расход воды на выращивание сахарной свеклы при комбинированном поливе составлял 13-18 $м^3$/ц и был неизменно на 1,3-5,6 $м^3$/ц ниже, чем при проведении поливов только дождеванием или по бороздам. Наиболее высок расход орошаемой воды при дождевании. Это объясняется тем, что кроме потерь на испарение в воздухе (до 14%), при дождевании значительная часть воды испаряется с листовой поверхности. После каждого прохода дождевального агрегата на одном растении задерживается 115-130 г воды (10,3-12,3 $м^3$/га), или 13,7-16,4% вносимого за один проход объема воды. Поэтому почвоувлажнительный эффект, составляющий при комбинированном поливе 75-80%, наиболее низок при дождевании (на 11% меньше, чем при комбинированном поливе, и на 6% - чем при поливе по бороздам).

Интенсивность роста сахарной свеклы также изменялась в зависимости от способа полива. Вес листьев одного растения на 5.У1, 20.У1, 5.УП, 22.УП и 7.УШ соответственно был равен, г: при комбинированном поливе-42,5; 189,7; 320,8; 346,6 и 382,0; при поливе по бороздам-39,0; 106,0; 227,8; 295,0 и 328,0; а при дождевании-42,9; 163,0; 275,3; 258,0 и 289,0. Среднесуточный прирост корнеплода за июнь, июль, август, сентябрь и октябрь соответственно составил, г: при комбинированных поливах-3,3; 8,1; 12,8; 9,2 и 3,5; при поливе по бороздам-3,1; 5,5; 6,1 и 2,3; а при дождевании - 3,3; 6,5; 8,1; 4,9 и 2,2.

К концу вегетационного периода при комбинированном поливе вес корнеплода достигал 990-1080 г., а при поливе дождеванием или по бороздам 640-750 г.

Анализ развития сахарной свеклы в течение вегетации при различных способах полива показывает, что в начале вегетации часть поливной нормы, вносимой дождеванием,

должна быть больше, чтобы обеспечить промачивание на небольшую, но соответствующую развитию корневой системы растений, глубину. Одновременно создается благоприятный микроклимат в приземном слое воздуха, что способствует хорошему развитию листьев растений. В середине вегетации дозу воды, вносимую по бороздам, следует повысить для того, чтобы обеспечить хорошее промачивание почвы. Доза,вносимая дождеванием, может быть снижена до минимальной величины с целью поддержания благоприятного микроклимата. В конце вегетации дозу, вносимую дождеванием, целесообразно вновь повысить.

Затраты труда на полив нормой 600 м^3/га при применяемой технике комбинированного полива составили 1,89 чел.-ч/га и были равны затратам труда на полив дождеванием и по бороздам, т.к. для всех способов полива применялся один и тот же агрегат. Себестоимость полива бороздково-дождевальным агрегатом при норме 600 м^3/га составила 5,1-6,4 руб/га, что несколько больше, чем при дождевании серийным агрегатом ДДА-100М. Это происходит из-за увеличения стоимости агрегата ввиду оснащения его комбинированными поливными органами и программным устройством. Себестоимость 1 м^3 поданной на поле воды при использовании бороздково-дождевального агрегата составила 0,9-1,1 коп., что на 0,1-0,2 коп. выше, чем для агрегатов ДДА-100М.

Оценивая результаты экспериментальных исследований комбинированных поливов, можно сделать вывод, что такие поливы позволяют создать для роста и развития сельскохозяйственных культур более благоприятные условия, и следовательно, обеспечить повышение их урожайности, чем поливы только одним способом.

При дальнейших исследованиях целесообразно установить оптимальный режим орошения комбинированным способом, включающий поливные нормы разными способами и сроки их проведения в различных природно-хозяйственных условиях для ведущих сельскохозяйственных культур.

Литература

1. Яковлев С.А. О сочетании полива по бороздам с дождеванием. - Бюллетень научно-технической информации УкрНИИГиМ, 1956, № 1.

2. Б о р о в е н с к и й Н.П. Исследование и совершенствование приемов орошения сахарной свеклы двухконсольными дождевальными и поливными агрегатами в условиях юга Казахстана. Автореферат на соиск. ученой степени канд.с.-х. наук. Ташкент, 1972.
3. Н о с е н к о В.Ф., Б о р о в е н с к и й Н.П. Бороздковый полив агрегатом ДДА-100М. Алма-Ата, Изд-во "Кайнар", 1966.

NOSENKO V.F., KREKKER N. Yu. COMBINED FURROW AND SPRINKLING IRRIGATION

SUMMARY

Investigations have demonstrated that, as compared to single-method irrigation, combined furrow and sprinkling irrigation ensures a more favourable water regime of soil and surface air strata thus intensifying the plants development and raising the yields. Specific features have been revealed as to the influence of combined irrigation on the growth and development of crops, sugar beet in particular, and on the changes of the outer factors governing plants development.

Equipment and technology for combined irrigation are developed, allowing for both sprinkling and furrow irrigation with versatile regulation of the relation between the rates applied by each irrigation method.

Application of combined irrigation under the conditions of South Kazakhstan makes it possible to increase the yield of sugar beet by 60-160 metric centners per hectar with water expenditure equalling 13-18 m^3/ha, a decrease of 1.3-5.6 m^3/ha over water applications through only sprinkling or furrow irrigation.

УДК 626.81/.84(47+57)

А.А.Никольская
(Союзводпроект)

РАЗВИТИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ СПОСОБОВ ОРОШЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ В СССР

Разнообразие как природных условий Советского Союза (климатических, геоморфологических, топографических, почвенных, гидрогеологических и др.), так и хозяйственно-экономических (степень водообеспеченности, специализация района, направление сельского хозяйства, обеспеченность рабочей силой и земельная нагрузка в гектарах на 1 трудоспособного) позволяет применять различные способы орошения: поверхностное, дождевание и подпочвенное. Однако ни один из этих способов не может быть признан лучшим, т.к. каждый имеет свои достоинства и недостатки, которые в большей или меньшей степени проявляются в различных природно-экономических условиях.

Так, в аридной зоне (пустынной и полупустынной), а также в районах хлопководства наибольшее распространение получило поверхностное орошение. Однако за последние 10-15 лет в целом по стране наблюдается неуклонное снижение применения этого способа, что объясняется общеизвестными недостатками всех видов поверхностного полива, наиболее существенны из которых - низкая производительность при тяжелом ручном труде и большие расходы оросительной воды.

При совершенствовании поверхностного орошения намечается тенденция к устранению мелкой внутрихозяйственной оросительной сети (картовых и участковых оросителей - постоянных и временных, ок-арыков, выводных борозд). Это позволит укрупнить поливные участки (удлинить поливные борозды и полосы и увеличить ширину последних); значительно повысить коэффициент земельного использования; снизить потери оросительной воды; повысить общий к.п.д. системы; сократить затраты на эксплуатацию; повысить производительность труда на поливе и производительность сельскохозяйственных машин и орудий при обработке посевов.

В настоящее время длина борозд достигает 300-400 м, а полос - от 300 до 400 м (в зависимости от уклонов,

почвенных и других условий), ширина полос – 30 м и больше. Удельная струя воды достигает 15–20 л/с на метр ширины полосы, поливной ток на полосу – 500 л/с. Вода подается специальной поливной машиной. Поливная струя в борозду также варьирует в широких пределах – от десятых и даже сотых долей литра на больших уклонах до 2–3 л/с на малых при широких междурядьях возделываемой сельскохозяйственной культуры (хлопчатника). Кроме того, рекомендуется переменная струя: в начале полива – большая (к моменту добегания), с последующим сокращением ее в два-три раза.

Удлинение борозд и полос требует проведения капитальной планировки в значительных объемах – до 600–1000 $м^3$/га. Для этого необходимо дальнейшее совершенствование планировочных орудий (скреперов, высокопроизводительных автоматических планировщиков и др.).

Для повышения производительности труда, возможности механизации и автоматизации полива применяют гибкие поливные трубопроводы (шланги), перфорированные подземные трубопроводы, поливные сифоны, а также поливные шланговые машины ПШН-165, ППА-165 и ППА-300, обеспечивающие получение высоких урожаев хлопчатника (30–40 ц/га и выше), трав (до 80–100 ц/га сена люцерны).

За последние годы разработаны конструкции поливных машин и агрегатов, передвижных (колесных) трубопроводов. Внедряется система полива по бороздам с подачей воды из перфорированных подземных трубопроводов, полив по автоматизированным бороздам-щелям, автоматизированный полив риса и др.

В результате многолетних исследований, проведенных ЮжНИИГиМом на опытном участке в Астраханской области, установлена целесообразность применения (особенно на засоленных землях) поверхностного полива машинами типа ППУ-500 (ЮжНИИГиМ) и ПМП-1 (Южгипроводхоз) по длинным бороздам и полосам (при уклонах порядка 0,002). При этом сменная производительность труда поливальщика возрастает при вегетационных поливах до 10,5 га, а при влагозарядковых до 14–16 га.

ВНИИМиТП создал универсальный поливной колесный трубопровод ТПУ-200, агрегатируемый с передвижной станцией СНП-500/6, и уплотнитель-формировщик борозд УФБ-5, позволяющий резко повысить производительность труда.

Кабардино-Балкарской сельскохозяйственной опытной станцией предложен поливной навесной агрегат ПНА-200 для влагозарядковых и вегетационных поливов кукурузы и других сельскохозяйственных культур по бороздам, бороздам-щелям и полосам.

Длительное время дождевание не находило широкого распространения. В 1962 г. оно было применено лишь на 181 тыс.га, что составило около 2% общей площади орошения (7,8 млн.га). В 1972 г. дождевание применялось на 2,5 млн.га, или на 21,4% общей орошаемой площади (11,4 млн.га). В последние годы в отдельных районах дождевание является основным способом полива. Так, например, в Молдавии дождевание применено на 86%, на Украине - на 81%, а в южных районах РСФСР - на 60% общей орошаемой площади.

Распространение дождевания сопровождалось его усовершенствованием - улучшением качества полива путем снижения интенсивности искусственного дождя, повышением производительности труда на поливе, снижением капитальных и эксплуатационных затрат на дождевание.

Если в первые годы развития дождевания применяли машины (ДДА-100, ДМа-200 и др.), обеспечившие интенсивность дождя, доходящую до 1,4-3,1 мм/мин, то в последнее время используют машины "Фрегат", "Волжанка" и др., интенсивность дождя которых снижена до 0,18-0,31 мм/мин, а во вновь разрабатываемых машинах и аппаратах предусматривают большее снижение интенсивности дождя.

С 1973 г. наша промышленность наладила массовый выпуск дождевальных машин типа "Фрегат" и "Волжанка" и с каждым годом производство этих машин будет расширяться.

Опыт применения широкозахватных машин показал, что хорошее качество обеспечиваемого ими полива сочетается со значительным повышением производительности труда.

Наиболее высокий коэффициент использования времени машин (за смену) у "Фрегата", далее у КДТ-25 и "Волжанки", самый низкий - УДС-50, "Сигма", ДМа-200.

Производительность дождевальных машин за час сменного времени зависит от расхода воды и размера поливной нормы.

Новая техника имеет наиболее высокие технико-экономические показатели по использованию оросительной сети

(в.п.д.) и орошаемых земель (КЗИ), а так же позволяет снизить объемы капитальной планировки земель при создании оросительных систем.

Закрытые дождевальные оросительные системы, как правило, требуют больших удельных капитальных затрат по сравнению с открытой сетью каналов (при ДДА-100М, ДДА-130 и ДДН-70).

Эксплуатационные затраты - один из важнейших показателей экономической эффективности, зависят от удельных капиталовложений, трудоемкости полива, принятого режима орошения сельскохозяйственных культур (размера оросительной нормы) и, что особенно важно, от производительности труда на поливе.

При дождевании с помощью машин "Фрегат", "Волжанка", КДТ-25 один человек может обслуживать несколько машин, что способствует повышению производительности труда на поливе и заметно снижает трудоемкость орошения и потребность в рабочей силе по сравнению с консольными и дальнеструйными дождевальными машинами. Это обстоятельство особенно важно для таких крупных районов производства зерна как Поволжье, Северный Кавказ, юг Украины, где ощущается недостаток в рабочей силе.

Высокая производительность труда на поливе широкозахватными дождевальными машинами существенно меняет структуру эксплуатационных затрат, в которых подавляющая часть приходится на амортизационные расходы и ремонт, т.е. на оплату овеществленного труда. Доля живого труда в затратах на полив варьирует в пределах 5,6-25%, что характеризует высокую степень механизации полива при дождевании.

В таблице приведены основные показатели экономической эффективности дождевальных машин и установок. Обобщающим показателем экономической эффективности капитальных вложений в дождевальную технику является, как известно, минимум приведенных затрат. Более производительное использование водоземельных ресурсов и получение большего объема валовой продукции при использовании широкозахватной техники снизило суммы приведенных затрат до уровня затрат на открытых системах. Таким образом, установки "Волжанка" и "Фрегат" (при использовании их на двух позициях) являются наиболее эффективными машинами.

Дождевальные машины и установки

Показатель	ДДА-100М	ДДА-130	ДМа-200	УДС-50	КДТ-25	ДДН-70	Волжанка (I крыло)	Фрегат
I	2	3	4	5	6	7	8	9
Коэффициент использования времени машины за смену (при нормах полива 300 и 600м³/га	0,7-0,86	0,75-0,85	0,52-0,79	0,47-0,62	0,82-0,87	0,79-0,82	0,84-0,91	0,87-0,92
Производительность дождевальных агрегатов за час сменного времени (при тех же нормах полива)	0,76-0,46	I,0-0,62	I,7-0,96	0,32-0,2I	0,23-0,I3	0,62-0,42	0,29-0,I6	I,03-0,54
Технико-экономические показатели:								
к.п.д. внутрихозяйственной оросительной сети	0,85	0,85	0,97	-	0,96	0,85	0,98	0,97
к.з.и. орошаемых земель	0,94	0,92	0,98	-	0,98	0,89	0,98	0,98
Удельные капитальные затраты, руб/га	558-609	595-635	775-844	-	669-769	607-643	358-6I6	723-59I
Эксплуатационные затраты, руб/га (при нормах полива 3000-4800 м³/га)	77,4	74,I	I00,7	-	85,2	80,0		I00,2

Производительность труда при поливе:								
затраты труда на I полив (М = 600м³/га, чел/час/га)	4,62	3,44	3,46	4,7	2,95	3,47	I,67	I,09
обслуживающий персонал на орошаемые I000 га при круглосуточном поливе, чел.	57	48	45	I38	48	48	24	I8
нагрузка на I поливальщика за сезон, га	I7,6	2I,0	22,0	7,2	2I,0	2I,0	42,0	55,0

Общая эффективность дождевания определяется размером урожая, получаемого в зависимости от почвенно-климатических и организационно-хозяйственных условий. По расчетам ВНИИМиТП при урожайности ведущей культуры - пшеницы 20 ц/га орошение дождеванием убыточно. При урожайности 30 ц/га в нормативные сроки окупаются оросительные системы, где дождевание производится "Волжанкой", при урожайности 40 ц/га - все дождевальные системы, при урожайности 50 ц/га срок окупаемости резко сокращается.

Наиболее полно рентабельность орошения дождеванием характеризует себестоимость производства пшеницы. Этот показатель при урожайности 20-30 ц/га при дождевании выше, чем без орошения (на богаре). При урожайности 40 ц/га себестоимость пшеницы при дождевании с помощью установок "Волжанка" и "Фрегат" меньше чем на богаре. Наибольшая эффективность орошения дождеванием наблюдается при возделывании пшеницы твердых и сильных сортов.

Подпочвенное орошение развивается в трех направлениях:

подпочвенное орошение в зоне крупных городов с использованием сточных вод для полива кормовых культур, картофеля, садов и ягодников;

стационарное подпочвенное орошение в равнинных условиях с орошаемыми участками площадью 100-150 га;

на шиферных почвах в предгорных и горных условиях для полива виноградников и садов.

При создании новых и реконструкции существующих систем необходимо, чтобы прогрессивные методы орошения сочетались с технически совершенными оросительными системами. Основные пути достижения этой цели: расширение использования потенциальных водоисточников, рационализация общей схемы построения оросительной системы, оптимизация режима орошения, совершенствование конструктивных элементов системы и индустриализация их изготовления, автоматизация управления системы.

Особое значение приобретают вопросы рационализации схемы построения сети и усовершенствования конструктивных элементов оросительной системы, то есть водозаборных узлов и подводящих трактов, насосных станций, оросительных трубопроводов и дренажа.

Прогрессивная техника полива требует перехода к закрытой оросительной сети. Это вносит новые аспекты в

проектирование схемы сети и существенно увеличивает возможность оптимизировать расположение и параметры основных элементов системы.

Решение таких вопросов, как наиболее оптимальный выбор длины трубопровода, количества дождевальных машин, параметров насосной станции, площади орошаемых земель, размера севооборотного участка и состава культур на нем, поможет сократить единовременные и текущие затраты.

NIKOLSKAYA A.A. DEVELOPMENT OF ADVANCED LAND IRRIGATION METHODS IN THE USSR

SUMMARY

The paper describes the development of modern irrigation methods and technique. Main efficiencies of sprinkler machines and systems are suggested. Trends in improving features of the irrigation network, arrangement in plan with due consideration to irrigation methods are determined.

УДК 626.845

Докт.с.-х.наук, проф.А.Д.Александров(ТСХ
канд.техн.наук Б.К.Рассолов,
канд.техн.наук В.Я.Чичасов, В.В.Горшков
(ВНИИГиМ)

МЕЛКОДИСПЕРСНОЕ ДОЖДЕВАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В настоящее время разрабатываются новые способы орошения, направленные на более экономное и рациональное использование воды. Одним из таких способов является мелкодисперсное дождевание, при котором растения покрывают мелкодиспергированной водой. Необходимым условием является равномерность распределения капель жидкости как по увлажняемой площади, так и по фракционному составу. Степень дисперсности соответствует таким размерам капель, при которых они не скатываются с листа на почву, а остаются на нем до полного испарения. Установлено, что максимальный размер таких капель около 500 мкм.

Мелкодисперсное дождевание можно использовать для устранения депрессии фотосинтеза; снижения расхода воды на эвакотранспирацию; защиты растений от заморозков, морозов и вымерзания озимых культур; борьбы с суховеями, вредителями, сорняками; внекорневого питания растений и др.

Рассмотрим некоторые из основных направлений использования мелкодисперсного дождевания в сельскохозяйственной практике.

1. Устранение депрессий фотосинтеза в жаркий период

Создание оптимальных условий для развития сельскохозяйственных культур способствует увеличению их продуктивности (увеличению к.п.д. фотосинтеза). Теоретически максимально возможный к.п.д. фотосинтеза растений около 30%, практически величина к.п.д. фотосинтеза редко превышает 2-3%. Одним из факторов, вызывающих депрессию фотосинтеза, является повышение температуры листа выше определенной величины, что по-видимому является причиной понижения физиологической активности растений.

Одновременно с фотосинтезом у растений происходит процесс дыхания, при этом накопленные углеводы окисляясь выделяют энергию, за счет которой в результате синтезируются белковые и другие сложные органические соединения, обуславливающие жизнедеятельность растения в целом. С повышением температуры равновесие между синтезом углеводов и их распадом нарушается. Так, например, у картофеля депрессия фотосинтеза начинается при температуре свыше 18°С, а при температуре +25°С фотосинтез прекращается. Энергия на дыхание возрастает, что предопределяет резкое снижение продуктивности растений в этот период.

Если принять за максимальное значение продуктивного фотосинтеза наибольшую величину CO_2, фиксируемую единицей площади листьев того или иного вида растений при оптимальной их влагонасыщенности и температуре, то можно проследить за динамикой изменения фотосинтеза в зависимости от температуры (рис.1).

Зависимость продуктивного фотосинтеза от температуры характеризуется увеличением его к.п.д. в левой части от экстремума и резким падением в правой. Восходящая ветвь кривой соответствует увеличению энергетической составляющей окислительно-восстановительной реакции фотофосфорилирования при повышении температуры реагентов.

Резкое падение кривой в правой части показывает, что даже при небольших превышениях температуры сверх оптимальной для данного вида растений процесс накопления органической массы быстро замедляется до полного его прекращения. Экспериментальные исследования показали, что происходит не только депрессия фотосинтеза, но и потеря накопленных органических веществ. Это объясняется тем, что энергия на дыхание возрастает и превышает уровень нормального дыхания в несколько раз (рис. 2). На графике пунктиром показано возможное влияние мелкодисперсного дождевания.

В зависимости от климатических зон СССР, количество жарких дней в течение вегетационного периода со средней температурой воздуха свыше 25°С, колеблется от 40 до 120. Экспериментальные данные показали, что в такие дни депрессия фотосинтеза начинается с 10 часов утра и продолжается до 18-19 часов (рис.3).

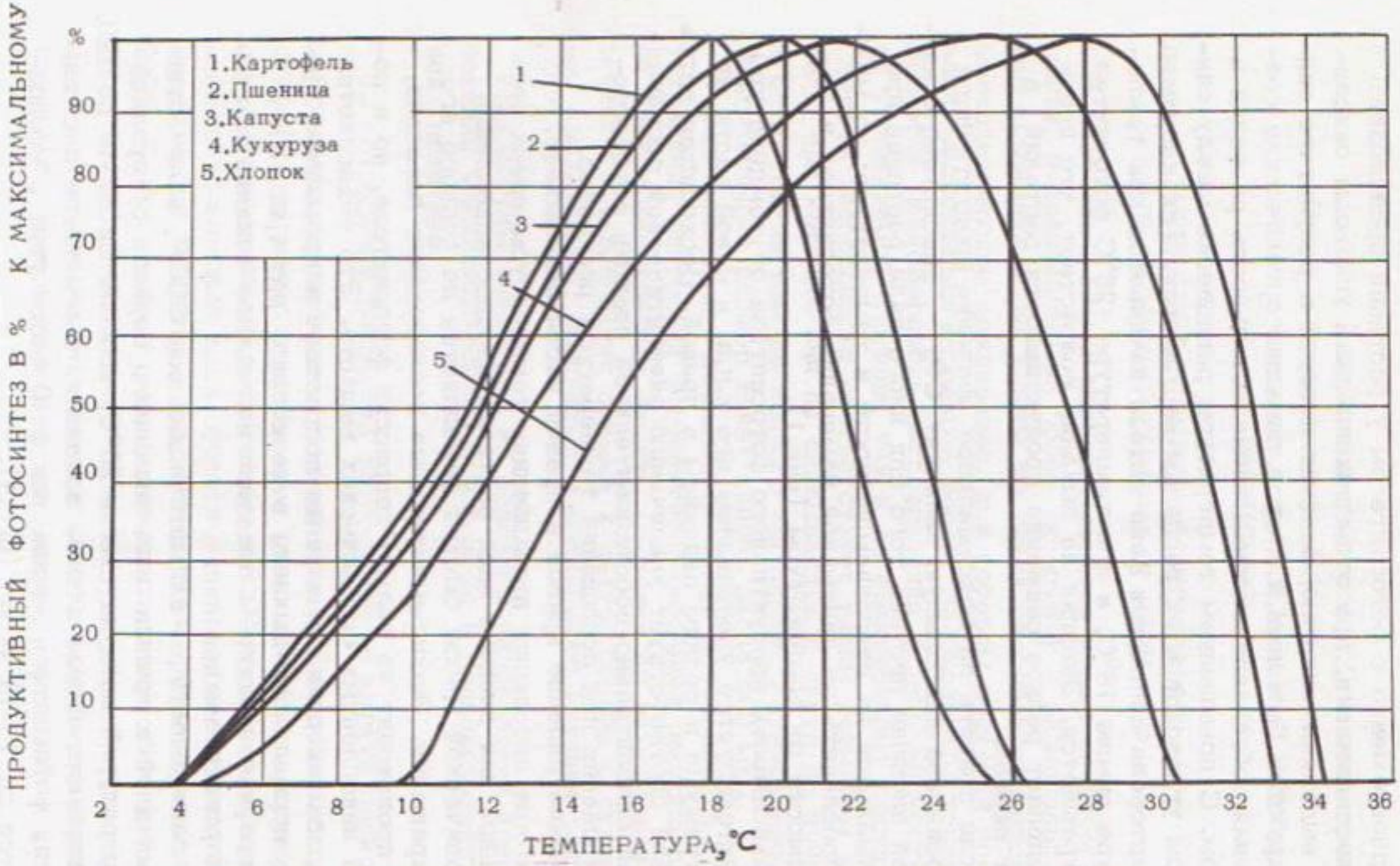


Рис. 1. Динамика изменения продуктивного фотосинтеза в зависимости от температуры

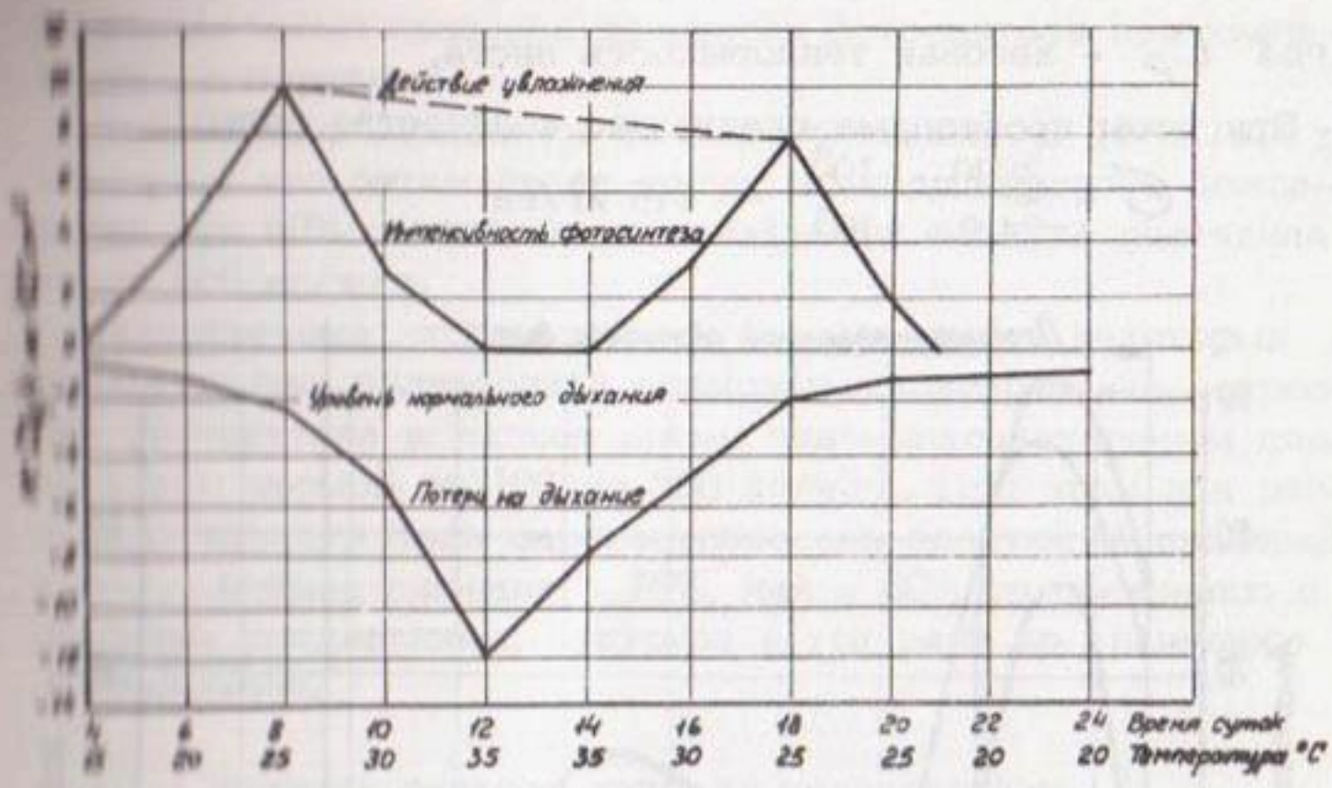


Рис. 2. Интенсивность фотосинтеза и дыхания цитрусовых в течение суток (по опытным данным Сочинской станции цитрусовых культур)

Нормализовать процесс фотосинтеза при температуре растения, превышающей оптимальную, возможно только охлаждением лиственного покрова. Если представить весь лиственный покров, например, картофельного поля, площадью в 10 тыс.м^2, в виде пластины толщиной $\delta = 5 \cdot 10^{-4}$ м (средняя толщина листа) и площадью $F = 50$ тыс.м^2 (площадь лиственного покрова принятого поля), то масса такой пластины будет равна:

$$m = \delta \cdot \rho \cdot F = 1{,}7 \cdot 10^4 \text{ кг},$$

где ρ – плотность листа картофеля.

Предположим, что такую пластину нагрели до 30°С и требуется определить количество воды, необходимое для понижения температуры до 25°С. При испарении 1 кг воды у окружающей среды отбирается тепло в количестве $Q_{исп} = 24{,}6 \cdot 10^5$ Дж/кг. В то же время для понижения температуры пластины данной массы на 5°С необходимо отобрать у нее тепло в количестве:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta t = 3660 \cdot 10^5 \text{ дж/г},$$

где C_p – весовая теплоемкость листа.

При этом необходимо следующее количество воды:

$$\sigma = \frac{3660 \cdot 10^5}{24{,}6 \cdot 10^5} = 148 \text{ кг/га}.$$

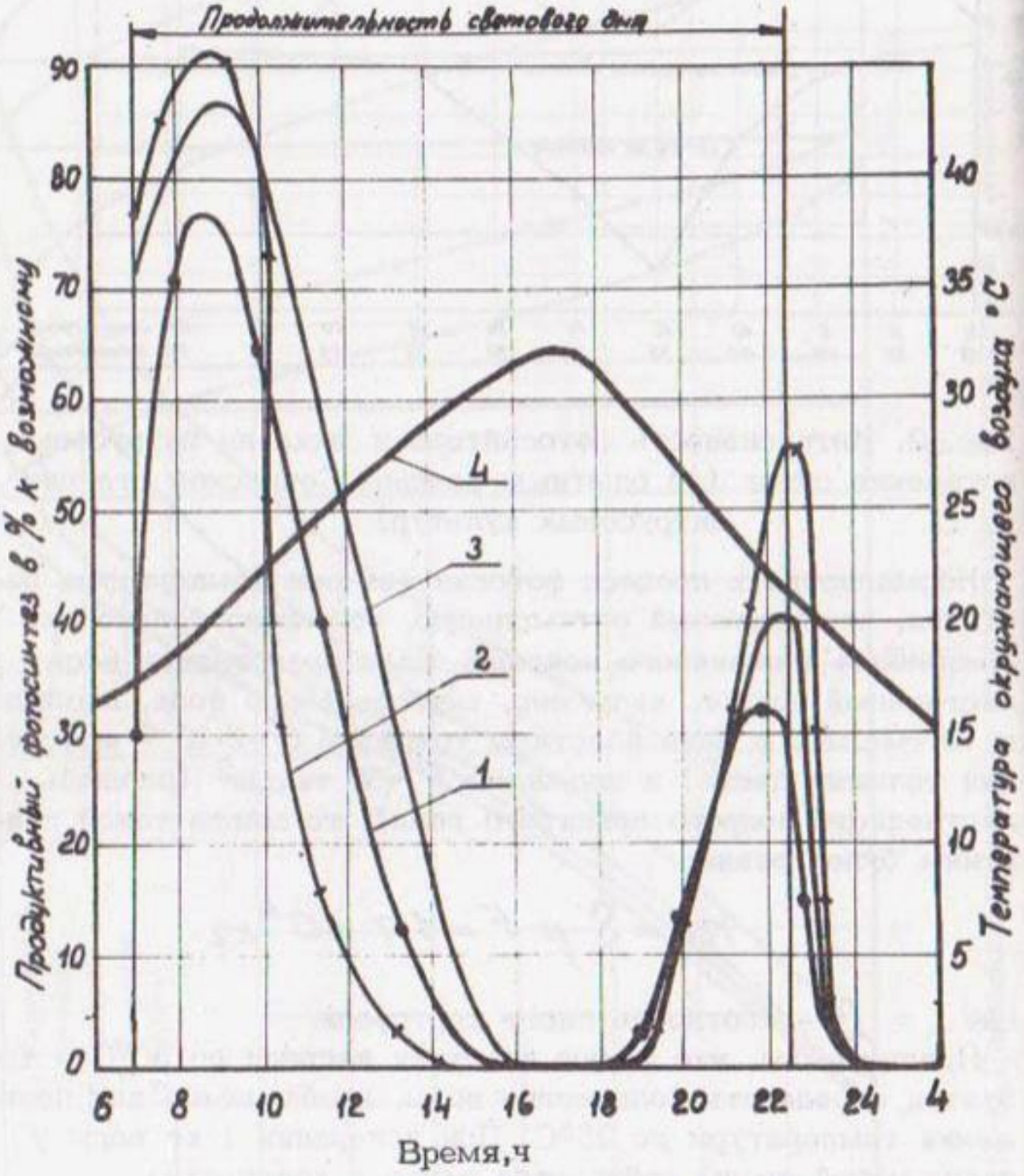


Рис. 3. Динамика изменения продуктивного фотосинтеза некоторых культур в течение дня: 1 – капуста; 2 – картофель; 3 – пшеница; 4 – температура воздуха

Число циклов обработки определяется скоростью испарения капель воды, нанесенных на поверхность растений, и инерционностью процесса депрессии фотосинтеза при увеличении температуры.

Опыты, проведенные на чаевых плантациях в 1972-1974 гг. показали, что оптимальная норма мелкодисперсного дождевания при 60% относительной влажности воздуха составила около 200 кг/ч·га.

Качественные исследования, проведенные в некоторых зонах страны, подтвердили возможность устранения депрессии фотосинтеза в жаркое время дня мелкодисперсным дождеванием нормой от 100 до 300 кг/ч.га. При этом для различных культур была зарегестрирована следующая прибавка урожая: озимая пшеница - 79%, чай - 80% по сравнению с обычным дождеванием, кукуруза в три раза по сравнению с неполивной.

2. Снижение расхода воды на транспирацию

Движущей силой процессов переноса воды растениями из почвы в атмосферу и распределения минеральных веществ и продуктов фотосинтеза является градиент водного потенциала ψ.

$$\psi = \frac{M - M'}{V_{H_2O}}$$

При этом для жидкой фазы: $\psi = (P - \Pi) + \rho_{H_2O}\, g h$,

для газовой фазы: $\psi = \frac{R \cdot T}{\bar{V}_{H_2O}} \ln \frac{\varphi}{100}$,

где M - химический потенциал воды;
M' - химический потенциал воды при стандартных условиях;
P - гидростатическое давление;
Π - осматическое давление;
ρ - плотность;
h - высота;
φ - относительная влажность;
$\bar{V}_{H_2O}$ - порциальный молярный объем воды;
T - абсолютная температура среды;
R - газовая постоянная.

Если провести анализ распределения водного потенциала на различных стадиях продвижения воды по растению, то окажется, что наибольшее падение водного потенциала приходится на границу раздела лист-атмосфера.

В табл.1 показано распределение водного потенциала в системе почва-растение-атмосфера. В зависимости от культуры, параметров окружающей среды, состава почвы и других факторов абсолютное значение ψ будет изменяться.

Количество воды, необходимое растению для обеспечения роста и продуктивности, а также общее количество воды, транспирируемое растением из почвы, пропорционально соответствующему градиенту водных потенциалов. Для приведенного в таблице распределения, отношение этих величин (в процентном выражении), определяющее к.п.д. водного обмена, составляет:

$$\frac{\Delta\psi'}{\Delta\psi} = \frac{(-0{,}3+0{,}8)\cdot 100}{-0{,}3+94{,}1} = 0{,}53\%$$

Эта величина, рассчитанная для данного конкретного примера, не является постоянной, т.к. она зависит от рассматриваемой культуры, параметров окружающей среды и других факторов. Но в любом случае порядок величины соответствует приведенному значению. Таким образом, более 90% всей воды, транспирируемой растением из почвы, не участвует в биохимических превращениях. В то же время эта вода необходима растениям для защиты от тепла инсоляции и пониженной влажности окружающей среды.

Максимальную испаряющую способность растений можно определить, рассмотрев следующую модель. Пары воды выходят с поверхности листа, причем основное сопротивление процессу диффузии на границе лист-атмосфера оказывает пограничный слой воздуха определенной высоты. Высота этого слоя зависит от скорости ветра на уровне растения. При скорости ветра 1,4 м/с высота слоя составляет $1\cdot10^{-3}$,

Для того, чтобы рассчитать количество паров воды $\mathcal{Y}$ которое может продиффундировать через этот слой воспользуемся уравнением Фика:

$$\mathcal{Y} = -D\frac{\partial c}{\partial x},$$

где D – коэффициент диффузии паров воды в воздух, при этом градиент концентрации $\frac{\partial C}{\partial x}$, в данном случае, можно апроксимировать разностью концентраций паров воды ΔC по обе стороны пограничного слоя, деленной на его толщину Δh. Если относительная влажность воздуха в межклетных воздухоносных пространствах листа равна 95%, то можно определить зависимость количества влаги, испаряемой с листьев растения, от температуры и влажности окружающего воздуха (рис.4). Это количество пропорционально градиенту водного потенциала и соответствует расходу воды на транспирацию растениями. Следовательно, в относительных единицах, можно судить о влиянии направленного изменения температуры и влажности окружающей растения воздушной среды на их транспирационную способность. Так, для приведенного примера увеличение относительной влажности приземного слоя воздуха с 50 до 80% влечет за собой уменьшение расхода воды на транспирацию в 4,5 раза.

Проведенные в 1973–1974 гг. экспериментальные исследования влияния мелкодисперсного дождевания на микро- и фитоклимат чайных плантаций показали, что при норме дождевания 200 кг/ч·га температура растений понижалась на 6–12°С, влажность воздуха в среде растений повышалась на 25–37%. Расход воды на транспирацию снижался в 6–10 раз по сравнению с контролем без орошения.

В настоящее время делается попытка аналитического описания процесса тепломассообмена между растениями и окружающей средой при проведении мелкодисперсного дождевания.

Предварительное изучение воздействия способа мелкодисперсного дождевания на транспирационную способность растений показало, что существует реальная возможность значительного снижения расхода воды на орошение сельскохозяйственных культур.

Таблица 1

Фаза	P М·Па	$-\Pi$ М·Па	$\rho_{H_2O} gh$ М·Па	$\frac{RT}{V_{H_2O}} \ln \frac{\varphi}{100}$ М·Па	ψ М·Па
Поверхность почвы вокруг корня	–0,2	–0,1	0	–	–0,3
Ксилема корня около поверхности почвы	–0,5	–0,1	0	–	–0,6
Ксилема стебля на высоте 1 м над уровнем почвы	–0,8	–0,1	–0,1		–0,8
Вакуоль клетки листа на высоте 1 м	+0,2	–1,1	0,1	–	–0,8
Клеточная оболочка листа на высоте 1 м	–0,7	–0,2	0,1	–	–0,8
Газовая фаза непосредственно у выхода из устицы при относительной влажности φ = 95%; t = 20°C	–	–	–	–6,9	–6,9
Окружающая растение атмосфера при относительной влажности φ=50% t=20°C	–	–	–	–94,1	–94,1

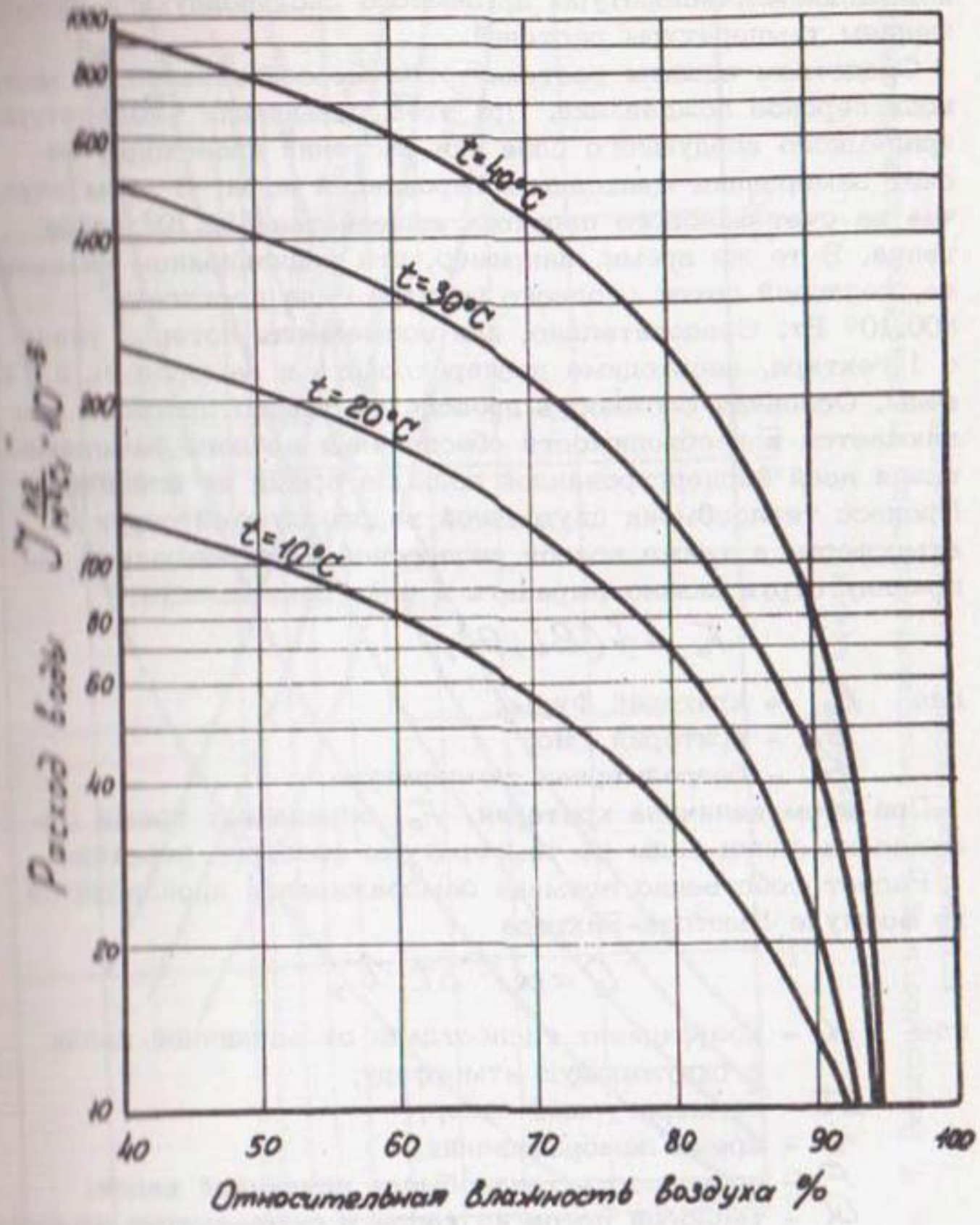


Рис. 4. Зависимость количества влаги, испаряемой растениями, от температуры и относительной влажности воздуха

3. Защита растений от заморозков и морозов

Защиту растений от заморозков и морозов осуществляют повышением температуры приземного слоя воздуха и повышением температуры растений.

Средством защиты растений от заморозков является мелкодисперсное дождевание. При этом, повышение температуры приземного воздушного слоя или растений происходит за счет замерзания мелкодиспергированной воды. В этом случае за счет фазового перехода выделяется 332.10^3 дж/кг тепла. В то же время, например, при радиационном заморозке, тепловой поток с одного гектара сада достигает 800.10^3 Вт. Следовательно, для возмещения потерь тепла с 1 гектара, необходимо диспергировать и заморозить 2,4 кг/ воды. Основная сложность проведения такого процесса заключается в необходимости обеспечения полного замораживания всей диспергированной воды за время ее оседания. Процесс теплообмена двухфазной водовоздушной струи и атмосферы, а также водной дисперсной фазы вышедшей за границу струи можно выразить в виде зависимости:

$$F_o = f(Bi; \theta),$$

где F_o – критерий Фурье;
Bi – критерий Био;
θ – безразмерная температура.

При этом величина критерия F_o определяет время охлаждения капли воды до температуры фазового перехода.

Расчет собственно времени замораживания производится по формуле Ньютона-Рихтера

$$Q = \alpha F \Delta t \cdot \tau,$$

где α – коэффициент теплоотдачи от единичной капли в окружающую атмосферу;
Δt – температурный напор;
τ – время замораживания;
F – поверхность теплообмена единичной капли;
Q – тепловой поток из капли в окружающую атмосфер

На рис.5 показана зависимость времени замораживания жидкой фазы от диаметра капли, температуры окружающей среды и высоты падения.

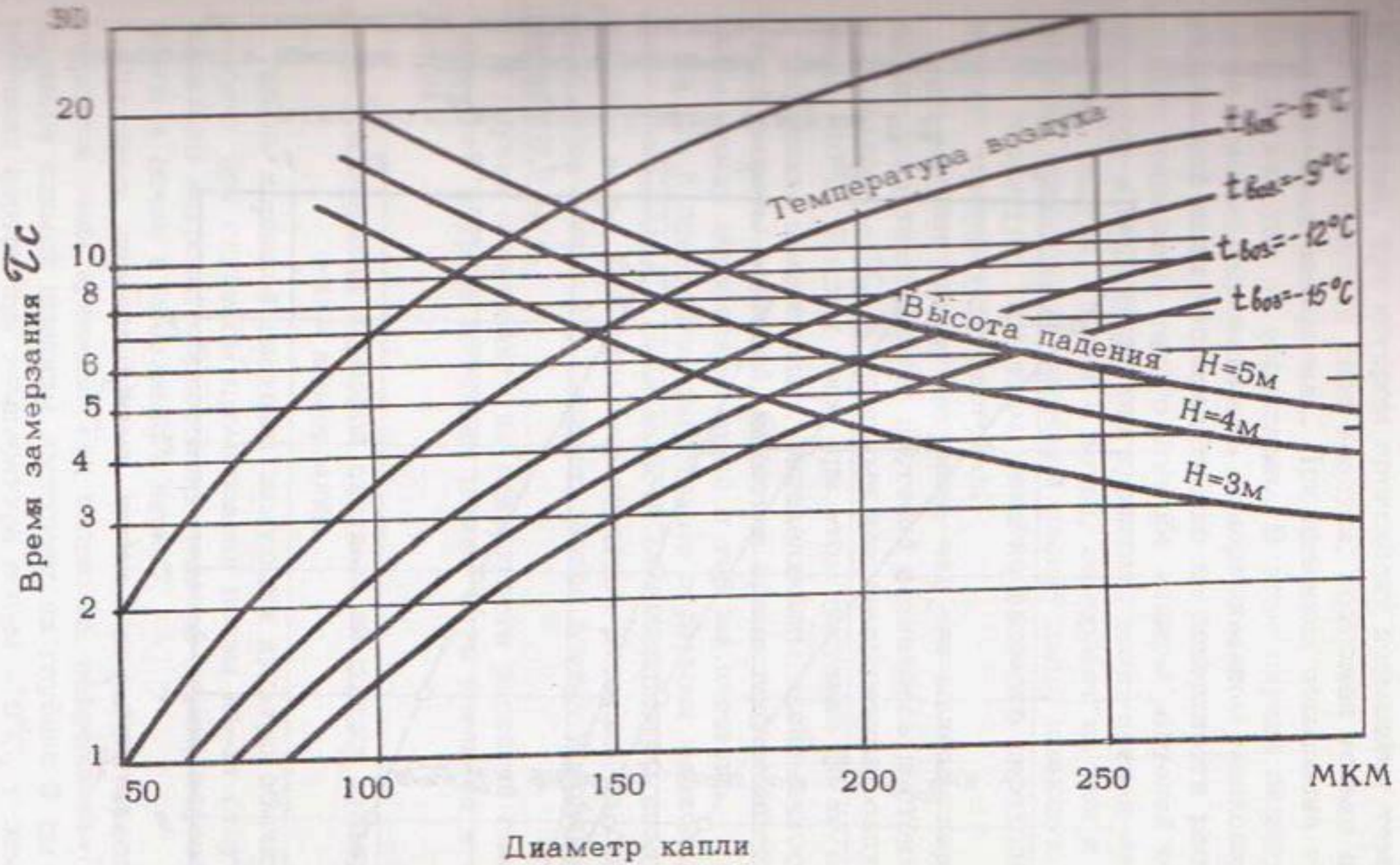


Рис. 5. Зависимость времени замораживания воды от диаметра капли, температуры окружающей среды и высоты падения

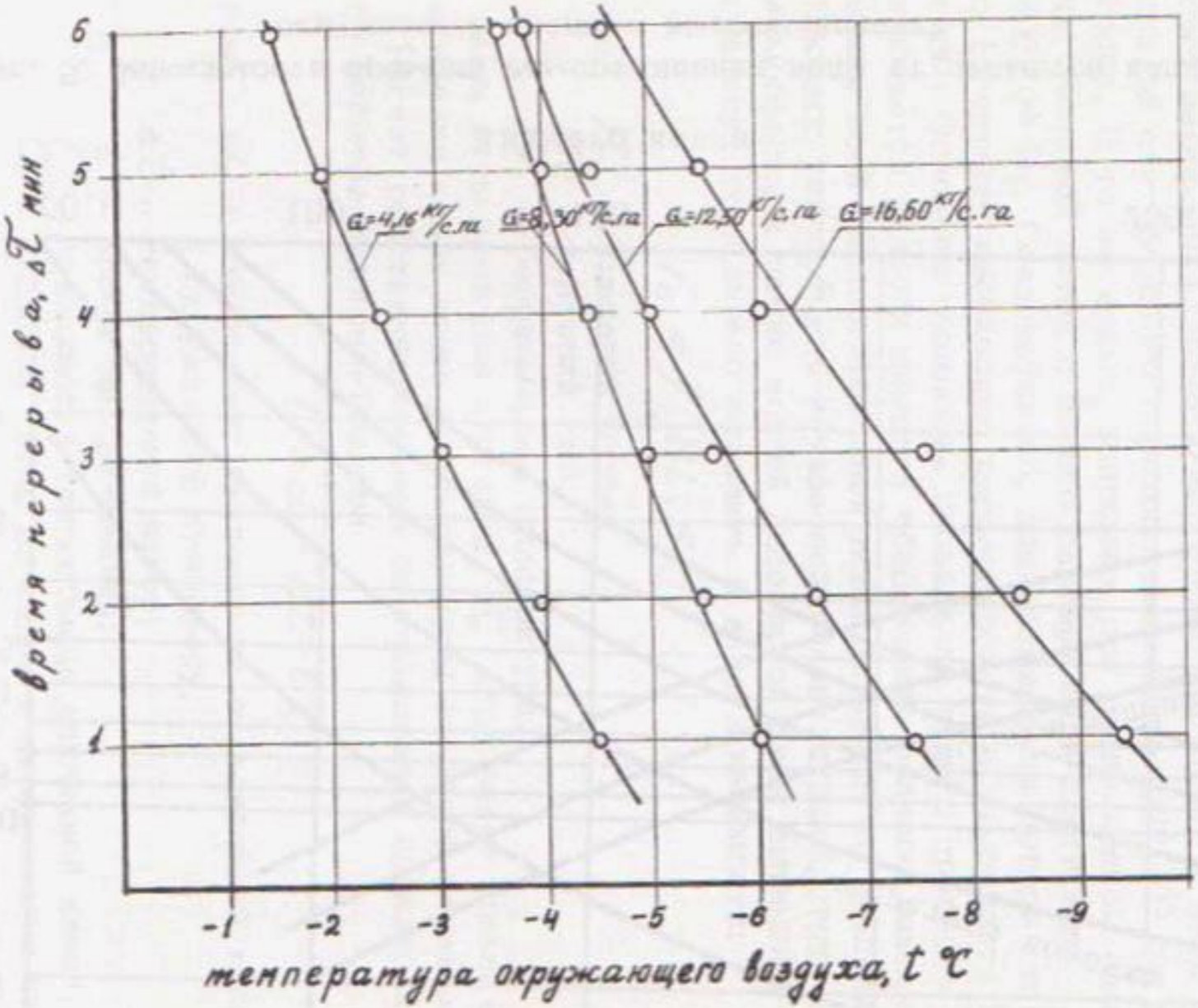


Рис. 6. Зависимость времени допустимого перерыва при мелкодисперсном дождевании от температуры воздуха и расхода воды

Способ защиты растений за счет замерзания капель воды в атмосфере, при котором происходит повышение температуры инверсионного слоя воздуха, возможен только при радиационных заморозках. При адвекции повышение температуры воздуха не эффективно. В этом случае защиту растений можно осуществлять замораживанием мелкодиспергированной воды непосредственно на поверхности растений.

При проведении такого способа защиты растений от заморозков и мороза диспергированная вода, оседая на цветы, бутоны, листья, побеги и ветви, замерзает на них и образует на поверхности растений пленку льда, имеющую пористую структуру. При этом энергия фазового перехода повышает температуру растений.

Проведенные опыты показали, что при мелкодисперсном дождевании температура растений оставалась постоянной и равнялась -1°С, в то время как температура воздуха была -10°С. Расход воды при этом составил 16 кг/с·га.

Основным показателем, определяющим экономичность такой защиты растений, является время допустимого перерыва между обработкой одной и той же площади.

На рис.6 приведены допустимые перерывы мелкодисперсного дождевания в зависимости от температуры воздуха и расхода воды. При этом температура растений не опускалась ниже минус 1°. Скорость ветра в этих условиях равнялась 0,5 м/с.

В случае образования на поверхности растений снежно-пористого покрова интервал может быть увеличен в несколько раз.

4. Регенерация корневой системы зимующих культур после вымерзания

Гибель корневой системы зимующих культур обычно происходит при глубоком промерзании почвы из-за отсутствия снежного покрова, образования ледяной корки, недостатка влаги в почве в предзимний период.

Органами, определяющими жизнедеятельность растений, являются узлы кущения. Так например, повреждение узла кущения озимой пшеницы наступает на глубине 3 см у обычных сортов при температуре почвы -10°С, у зимостойких -20°С, а полное вымерзание соответственно при -23°С и -28°С.

Наземная часть озимой пшеницы, как правило, не вымерзает и на фоне вымерзшего узла кущения и корневой системы, при стаивании снега весной, долго сохраняет зеленый цвет, однако из-за недостатка влаги и питания постепенно отмирает.

Процесс фотосинтеза у озимой пшеницы начинает активизироваться при температуре воздуха около +4°С. Из-за нарушения водного обмена растения, фактически потерявшие корневую систему, испытывают острый дифицит влаги. Влага поступает не из почвы, а из клеток мезофилла листа.

Концентрация клеточного сока и осмотическое давление в клетках увеличиваются.

Фотосинтез прекращается, следовательно, прекращается активное снабжение корневой системы продуктами, полученными в результате фотофосфорелирования. Таким образом, необходимые для регенерации клеток корневой системы питательные вещества не поступают в нее из-за недостатка влаги.

Экспериментальные исследования показали, что вымерзание корневой системы озимой пшеницы не означает гибель растения. Так, вымораживание озимой пшеницы при температуре -23°С с последующей обеспеченностью влагой, при плюсовых температурах, дало полную регенерацию корневой системы растения в течение 8 дней. В полевых условиях был поставлен качественный эксперимент с вымерзшей озимой пшеницей на площади 50 га. После стаивания снега в течение 10 дней проводилось мелкодисперсное дождевание нормой 600 кг/га, через каждые 2 часа светового дня. Урожай с этого участка составил 5 т/га.

5. Техника обеспечения мелкодисперсного дождевания

Общий метод получения капель размером от нескольких десятков до нескольких сотен микрон базируется на принципе неустойчивости тонких струек или пленок жидкости, дробление которых приводит к образованию капель.

Дробление жидкости осуществляют следующими способами: под действием давления, когда жидкость принудительно пропускают через отверстия малого диаметра (форсунки); наложением на струю жидкости электростатического поля напряженностью от 2000 В/см ультразвуком с определенной

частотой возбуждения; горизонтально вращающимся диском, в центр которого подается струя жидкости.

Наиболее перспективным для установок большой производительности является способ дробления струи жидкости под действием газодинамических сил, обусловленных относительным движением диспергируемой жидкости и газа. Основным безразмерным параметром, характеризующим устойчивость единичной капли жидкости, является, число Вебера We, рассчитываемое по относительной скорости и плотности газа:

$$We = \frac{\rho_г (W_г - W_ж)^2}{\sigma} d_к$$

где $d_к$ – диаметр капли;

$W_{г,ж}$ – скорость газа и жидкости – соответственно

σ – поверхностное натяжение жидкости;

$\rho_г$ – плотность.

Для невязких жидкостей, к которым относится вода, критическое число Вебера составляет 12. Регулируя скорости газа и жидкости, можно создавать условия для образования капель требуемого размера.

Неустойчивость капель проявляется в виде динамических пульсаций формы капель. На конечной стадии процесса дробления, капля под действием скоростного напора в точке торможения превращается в баллоноподобную.

Если капли или тонкие струйки жидкости в месте соприкосновения с потоком газа имеют число Вебера свыше 12, в результате последовательного их дробления образуется множество капель. Для расчета среднего размера капель, получаемых в результате дробления газовой струей, можно воспользоваться уравнением Нукиямы и Танасавы:

$$d_к = \frac{585 \cdot 10^3}{W_г}\sqrt{\frac{\sigma}{\rho_ж}} + 1683\left(\frac{\mu_ж^2}{\sigma \rho_ж}\right)^{0,225}\left(\frac{10^3 V_ж}{V_г}\right)^{1,5},$$

где $\mu_ж$ – коэффициент динамической вязкости;

$V_ж, V_г$ – объемные расходы жидкости и воздуха.

Спектр размеров образующихся капель при дроблении жидкости газовой струей определяется функцией распределения этих же исследователей

$$P_1 = 4d_1^2 e^{-2d_1},$$

где P_1 – безразмерная плотность вероятности;

d_1 – безразмерный диаметр

$$d_1 = \frac{2d}{d_к}$$

d – текущий размер;

$d_к$ – характерный диаметр, определяемый по приведенному выше уравнению.

Смесь скоростного воздушного потока с диспергированной жидкостью является турбулентной двухфазной струей. По мере распространения двухфазной струи в атмосфере скорость ее уменьшается, а площадь сечения увеличивается за счет захвата окружающего воздуха. Капли жидкости, попадая на границу струи теряют скорость, выходят из движения и под действием гравитационных сил оседают на поверхность растений.

Длина распространения такой струи зависит от характера изменения скорости водовоздушного потока по его длине и интенсивности выпадения жидкости. Закон уменьшения скорости определяется начальной скоростью и размером начального сечения струи, т.е. объемным расходом воздуха, а также отношением массовых расходов воды и воздуха. Чем больше величина начального сечения и начальная скорость при одинаковом отношении расходов воды и воздуха, тем устойчивее двухфазная струя, и следовательно, больше ее дальнобойность.

Интенсивность выпадения жидкости определяется спектром распределения капель по размерам и скоростью осаждения этих капель. Конечная скорость осаждения единичной капли определяется балансом сил гравитации, выталкивающей силы Архимеда и сопротивления. Для расчета скорости осаждения частиц (твердых и жидких) при всех режимах движения О.М.Тодес и его сотрудники предложили универсальную зависимость:

$$Re = \frac{Ar}{18 + 0{,}61\sqrt{Ar}},$$

где $$Re = \frac{W d_к}{\nu}$$ – критерий Рейнольда;

$$Ar = \frac{g d_к}{\nu^2} \frac{\rho_ж \rho_г}{\rho_г}$$ – критерий Архимеда.

Таким образом, зная закон изменения скорости струи по ее длине, спектр распределения капель по размерам, а также скорость осаждения этих капель, можно рассчитать длину распространения двухфазной струи и интенсивность выпадения осадков по ее длине.

Проведенные расчеты позволили разработать и изготовить опытный образец установки для изучения процессов диспергирования и транспорта жидкости с помощью газовоздушной струи, а также для проверки способа мелкодисперсного дождевания.

Установка состоит из двух основных частей: генератора высокоскоростного потока воздуха и соплового аппарата с водораспределительным устройством. В качестве генератора воздуха наиболее перспективным для дальнейшей разработки оказался газотурбинный авиадвигатель, отработавший свой летный ресурс. Основными достоинствами такого воздухогенератора являются компактность и простота в эксплуатации, полнота сгорания топлива и энергетическая автономность.

В соответствии с качеством диспергирования жидкости такие установки были названы туманообразующими (ТОУ).

Туманообразующая установка работает следующим образом. Атмосферный воздух поступает в компрессор газотурбинного двигателя, сжимается и направляется в камеру сгорания. В результате сгорания топлива температура воздуха повышается и объем его увеличивается. Далее воздух срабатывает часть своего перепада давления на турбине, приводящей в действие компрессор, и направляется в сопловой аппарат. В сопловом аппарате потенциальная энергия воздуха преобразуется в кинетическую, и воздух со скоростью, близкой к критической, выбрасывается в атмосферу. На выходе из соплового аппарата в скоростной газовоздушный поток специальным устройством вводится вода, которая дробится на капли. Затем мелкодиспергированная вода в

смеси с воздухом в виде турбулентной двухфазной струи распространяется в атмосфере.

В настоящее время разработаны и испытаны установки нескольких типов. В табл.2 приведены технические характеристики установок. Основное отличие установок заключается в конструкции соплового аппарата и способе ввода воды в поток.

Таблица 2

Показатель	ТОУ-1	ТОУ-2	ТОУ-3
Мощность двигателя, кВт	73,5	73,5	290
Расход воды, кг/с	1,0–1,2	2,0	До 20
Средний размер капель, мкм	200	200	300
Длина факела в спокойной атмосфере, м	35–40	До 60	До 120
Средняя интенсивность дождя, мм/мин:			
при позиционной работе	0,16	0,16	0,4
при работе по кругу	0,0106	0,0106	0,026
Угол раскрытия струи, град.	35–40	24	24
Топливо	Бензин	Бензин	Керосин
Обрабатываемая площадь при десятикратном увлажнении в течение дня, га	–	До 10	До 90

Испытание установок ТОУ-2 и ТОУ-3 проводилось на чайных плантациях Дагомысского чайного совхоза фирмы "Краснодарский чай". При испытаниях были получены спектры распределения капель по размерам, длина распространения струи в атмосфере, распределение массы выпавшей воды из оси струи. На рис.7 показан график выпадения воды из струи по мере ее распространения.

Результаты проведенных исследований показали, что применение мелкодисперсного дождевания позволяет повысить урожайность сельскохозяйственных культур в 1,5–2 раза при одновременном снижении затрат оросительной воды в несколько раз по сравнению с другими способами дождевания

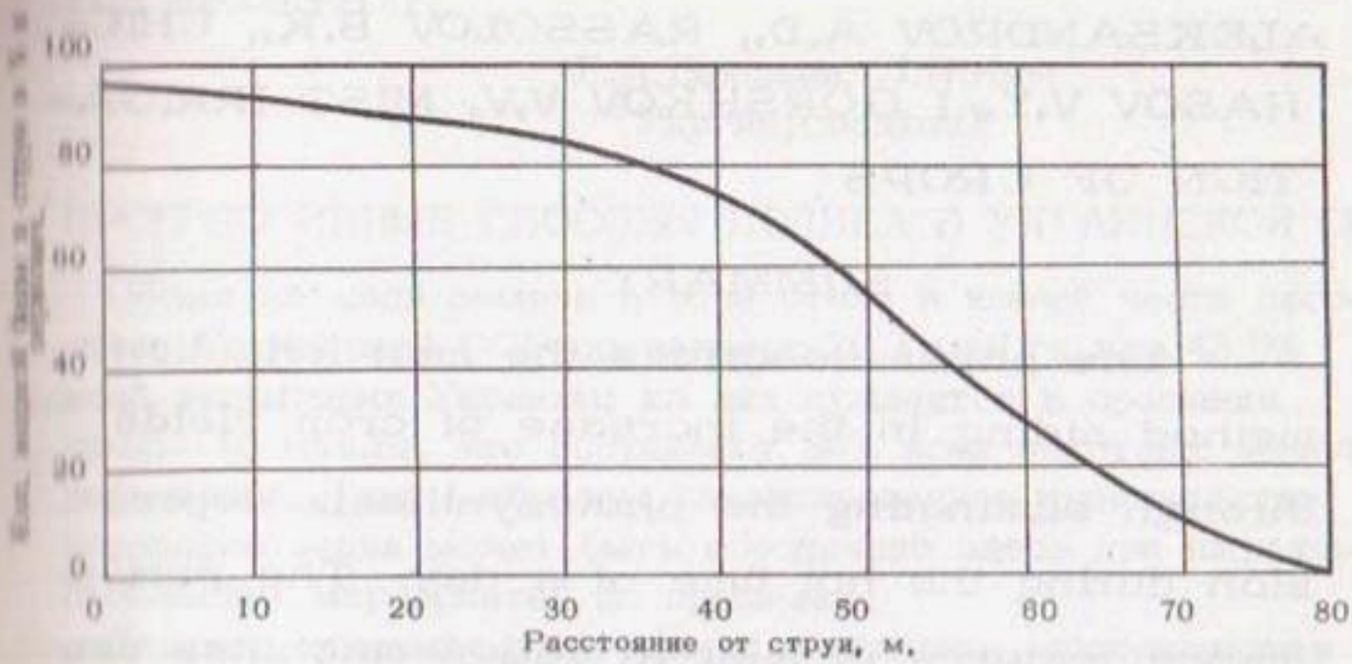


Рис. 7. Интенсивность выпадения воды по длине струи

Наблюдения за воздействием мелкодисперсного дождевания на почву и растения позволили сделать вывод, что при этом способе полностью устраняется разрушение и даже идет упрочнение структурных агрегатов почвы, что способствует ее газообмену с атмоферой; исключается смыв и эрозия почвы; возможно дождевание при неравном рельефе местности, включая уклоны свыше 0,1; возможно регулирование интенсивности дождя и размера капель.

Литература

1. Нобел П. Физиология растительной клетки. М., "Мир", 1973.
2. Уоллис Г. Одномерные двухфазные течения. М., "Мир", 1972.
3. Слейчер Р. Водный режим растений. М., "Мир", 1970.
4. Александров А.Д., Гутиев И.Г. Мелкокапельное орошение и увлажнительные поливы сельскохозяйственных культур. – "Гидротехника и мелиорация", 1974, № 2.
5. Александров А.Д. Новый способ защиты садов от заморозков. – В кн.: "Доклады ТСХА", М., 1963, вып.88.
6. Малых Г. Увлажнительный полив. – "Земледелие", 1974, № 2.

ALEKSANDROV A.D., RASSOLOV B.K., CHICHASOV V.Y. I GORSHKOV V.V. MIST IRRIGATION OF CROPS.

SUMMARY

The paper describes the mist irrigation method aiding in the increase of crop yields through eliminating the photosynthesis depression during the hot time of a day. The performance features of mist irrigation machines are suggested.

УДК 626.84(477)

Е.А.Бакшеев, Л.И.Ким
(Укргипроводхоз)

ПРОГРЕССИВНЫЕ СПОСОБЫ ПОЛИВА В УКРАИНСКОЙ ССР

Общая площадь земель в зоне степи и южной части лесостепи Украинской ССР составляет 26,2 млн.га, или 43,5% всей территории Украины; из них нуждается в орошении свыше 10 млн.га, что составляет 30% всех пахотных земель республики. Таким образом, гарантированное производство товарного зерна может быть обеспечено здесь при широком проведении мероприятий по орошению.

Площадь орошаемых земель в республике, составляющая в настоящее время около 1 млн.га, должна быть доведена (с учетом участков малого орошения и культурных пастбищ) до 5,2 млн.га.

К специфике условий строительства и эксплуатации оросительных систем в зонах степи и южной части лесостепи относится:

недостаток собственных водных ресурсов, за счет которых можно оросить лишь около 4 млн.га;

сравнительно низкая обжитость и постоянно увеличивающийся дефицит рабочих, занятых в сельскохозяйственном производстве, особенно при орошаемом земледелии.

Эти факторы предопределяют необходимость применения прогрессивных способов полива и строительства технически совершенных систем, обеспечивающих максимальную автоматизацию процесса водораспределения, полива и управления.

Начиная с 1961 г. основным способом полива на построенных и строящихся оросительных системах Украины является дождевание машинами ДДА-100М и ДДН-45. К таким системам относятся Северо-Крымская в Крымской обл. (179 тыс.га), Фрунзенская в Днепропетровской обл. (21 тыс.га) и Татарбунарская в Одесской обл. (26 тыс.га).

В этот же период на ранее построенных оросительных системах "Каменский Под" в Запорожской области (17 тыс.га), Нигулешкой в Николаевской обл. (60 тыс.га) и Краснознаменской в Херсонской обл. (71 тыс.га) осуществлен переход с поверхностных способов полива на дождевание.

Современный этап развития прогрессивных способов орошения в Украинской ССР характеризуется переходом к строительству технически совершенных оросительных систем. Наиболее полно их требованиям отвечают оросительные системы, внутрихозяйственная сеть которых выполняется в трубопроводах, а для полива используются широкозахватные дождевальные машины "Фрегат" и "Волжанка" с водозабором непосредственно из закрытой сети. Это значительно повышает надежность работы всех звеньев оросительной сети и сооружений, дает возможность регулировать интенсивность дождя, максимально автоматизировать водораспределение и полив, а также более экономно использовать земельные и водные ресурсы.

Строительство совершенных оросительных систем, начатое в Украинской ССР с 1970 г., в настоящее время осуществляется на Каховской системе (260 тыс.га), Красноармейской в Херсонской обл. (22 тыс.га), Южно-Бугской в Николаевской обл. (12 тыс.га), Фрунзенской (П очередь) в Днепропетровской обл. (15 тыс.га) и на Северо-Рогачикской (П очередь) в Запорожской обл. (50 тыс.га). К 1975 г в республике намечается ввести в эксплуатацию 220 тыс.га технически совершенных оросительных систем с поливом широкозахватными дождевальными машинами.

Как показывает опыт, применение дождевальной машины "Фрегат" целесообразно для всех видов сельскохозяйственных культур и севооборотов, а машины "Волжанка" - для полива трав, овощных культур и культурных пастбищ. Хотя строительство технически совершенных оросительных систем требует увеличенных капиталовложений, использование дождевальных машин "Фрегат" и "Волжанка" эффективно и дает на каждые 1000 га валовой площади орошения экономии

	"Фрегат"	"Волжанка"
затрат труда, чел.	32	21
воды, тыс.м^3	1326	1465

Кроме того, дополнительно может быть орошено 80 га.

С целью дальнейшего совершенствования высокопроизводительных способов полива институт "Укргипроводхоз" в 1968 г. разработал новый способ автоматизированного подпочвенного полива, который в отличие от других способов позволяет создавать оптимальный водно-воздушный режим

за счет цикличного снабжения корневой зоны растений необходимым количеством воды и воздуха (авторское свидетельство № 327903).

Цикличная подача воды и воздуха, осуществляемая круглосуточно малыми дозами 1,5–2,0 л/мин на 100 м^2 поля в течение всего вегетационного периода, обеспечивает ускоренное перемещение влаги в активном слое почвы, повышает ее аэрацию и предохраняет увлажнители от заиления.

Увлажнители водно-воздушной системы подпочвенного полива – это телескопические трубки (из стабилизированного полиэтилена) диаметром 6–8–10 мм, длиной 100–200 м, перфорированные отверстиями диаметром 0,7–0,9 мм.

Увлажнители укладываются бестраншейным способом на глубину 45–50 см через 1–2 м в зависимости от физико-механических свойств почвы.

Цикличная водно-воздушная система предназначается для площадного подпочвенного орошения пропашных сельскохозяйственных культур.

В 1970 г. на территории Центрального республиканского ботанического сада АН УССР построен опытно-производственный участок подпочвенного полива на площади 0,5 га. Проведенные в течение 1971–1973 гг. исследования показали, что полив этим способом исключает потери воды на глубинную фильтрацию и испарение, а также необходимость проведения послеполивного рыхления почв, планировки поверхности поля и устройства дренажа. При этом появляется возможность полностью автоматизировать процесс и режим полива по заданной программе или в соответствии с потребностью сельскохозяйственных культур в увлажнении. Затраты воды сокращаются на 30–40%, а урожай сельскохозяйственных культур повышается на 5–10%.

Для садов, виноградников, кустарников и других многолетних насаждений институтом "Укргипроводхоз" разработана система автоматического инъекционного подпочвенного полива, сущность которого состоит в том, что оросительный полиэтиленовый трубопровод укладывают по поверхности почвы, а к нему через отводы "тройники-дозаторы" подсоединяют инъекторы. Оросители-инъекторы вводятся на необходимую глубину в зоне корневой системы растений.

В 1973 г. в винсовхозе "Солнечная долина" (Крымская обл.) начато строительство опытно-производственного участка

автоматического инъекционного подпочвенного орошения сада на площади 12 га. Пробные поливы дали экономию воды до 50% по сравнению с поверхностным способом при сохранении показателей качества и урожайности фруктов.

Капиталовложения на строительство систем подпочвенного полива пока еще в 1,5-2 раза превышают затраты на строительство закрытых оросительных систем с использованием дождевальных машин "Фрегат" и "Волжанка".

BAKSHEEV E.A., KIM L.I. ADVANCED IRRIGATION METHODS IN THE UKRAINIAN SSR

SUMMARY

The paper describes the present art of irrigation in the republic and advanced methods of sprinkling irrigation. A new method of automatic subsoil irrigation using water-aeration laterals is suggested, permitting 30-40 % decrease of water use and 5-10 % increase of yields.

The description is given of a system of automatic injection subsoil irrigation designed for irrigation of orchards and vineyards. The use of this system saves 50 % of water as compared to surface irrigation, not affecting fruit quality and yields. However, it should be noted that the expenditures to be invested into constructing subsoil irrigation systems are 1.5-2 times greater than those meant for construction of subsurface irrigation systems using "Fregat" and "Volzhanka" sprinklers.

УДК 626.845.002.5

Канд.техн.наук Д.Б.Циприс,
С.М.Белинский
(СевНИИГиМ)

КРИТЕРИИ РАВНОМЕРНОСТИ ПОЛИВА И ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ СТРУЙ

Целью орошения является создание равномерной увлажненности почвы в определенные моменты вегетационного периода. При орошении дождеванием это достигается с помощью источников дождевальных струй (и.д.с.), расположенных по той или иной системе на орошаемом поле. Это могут быть, например, дальнеструйные дождевальные установки или дождевальные насадки на трубопроводах.

1. Постановка задачи

Орошение дождеванием можно представить в виде системы, связывающей некоторые "объекты", с помощью которых достигается конечный результат - необходимое увлажнение почвы. Взаимосвязь частей этой системы схематически показана на рис.1.

Переход от верхнего блока к нижнему (сплошные стрелки) составляет содержание прямых задач, возникающих при орошении дождеванием. Примерами прямых задач являются определение параметров струи по параметрам и.д.с. или определение зависимости слоя дождя от расстояния до и.д.с. по характеристикам струи.

Переход от нижнего блока к верхнему (пунктирные стрелки) составляет содержание обратных задач. Примером обратной задачи является определение зависимости слоя дождя от расстояния до и.д.с., обеспечивающей оптимальное (в некотором смысле) размещение и.д.с. Решение обратных задач позволяет, в конечном итоге, сформулировать требования к параметрам и.д.с., необходимые для разработчиков дождевальной техники и для проектных организаций.

Построение физической модели, связывающей параметры и.д.с. с характеристиками струи и последние с распределением слоя дождя от данного и.д.с., - физическая задача.

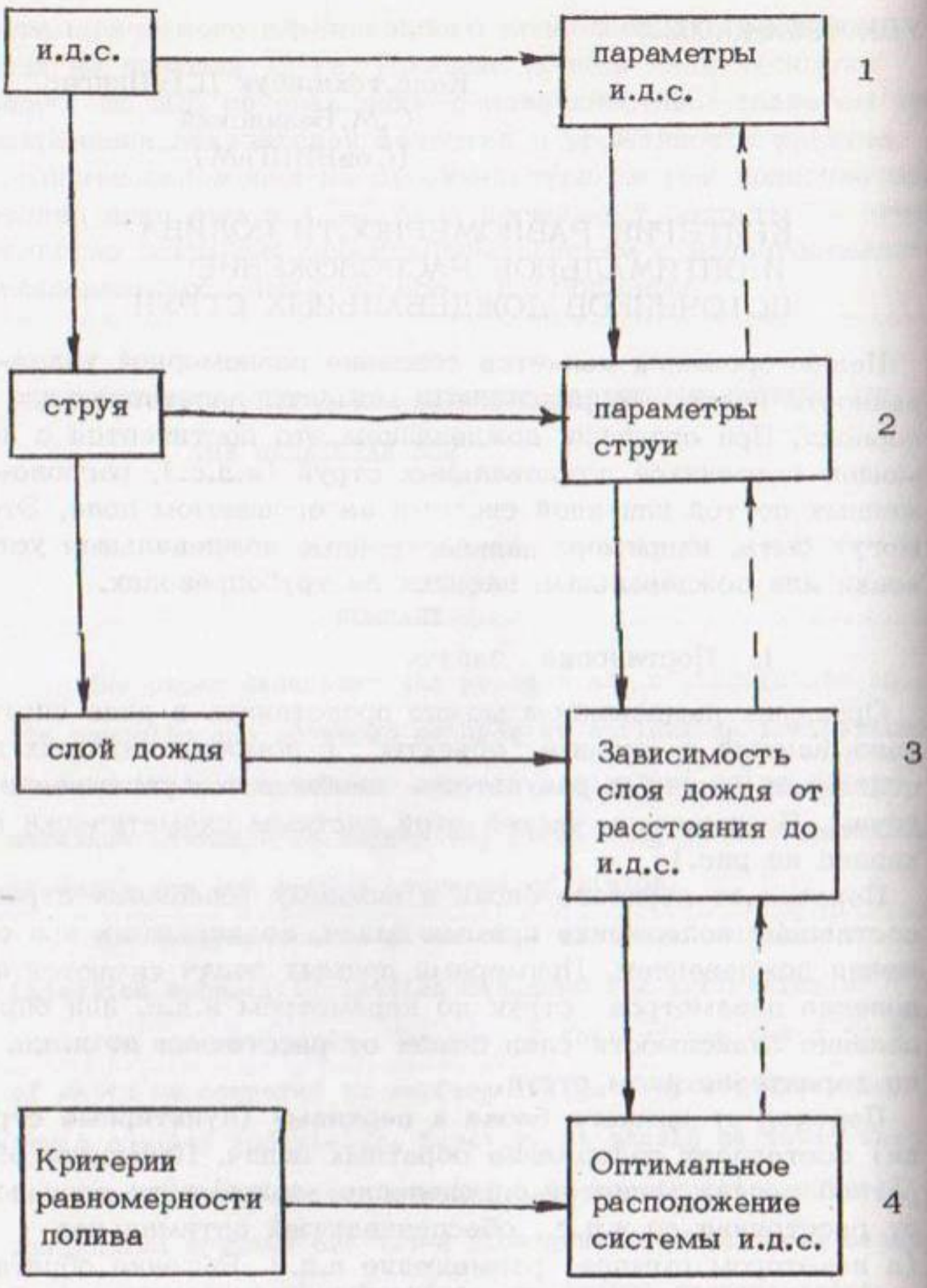


Рис. 1. Блок-схема прямых и обратных задач при орошении

Обратный переход представляет, в основном, математическую задачу. Возможно установить связь 1 $\rightarrow$ 3 и экспериментально, статистически обработав данные по замерам слоев дождя на разных расстояниях от и.д.с. Прямые и обратные задачи $3 \rightleftarrows 4$ относятся к проблемам математики.

Пусть $\mathcal{J}_1, \ldots, \mathcal{J}_n$ – и.д.с., которые должны быть размещены на орошаемой области U. Предполагается, что на некотором расстоянии непосредственно вокруг и.д.с. обеспечивается необходимый слой дождя. Конструктивно это осуществляется вспомогательными соплами.

Множество и.д.с. $\{\mathcal{J}_1, \ldots, \mathcal{J}_n\}$ будем иногда сокращенно обозначать через $\mathcal{J}$. Каждому и.д.с. $\mathcal{J}_k$ соответствует точка $\theta_k \in U$, в которую он помещается. Таким образом, совокупности $\mathcal{J}$ и.д.с. $\{\mathcal{J}_1, \ldots, \mathcal{J}_n\}$ соответствует совокупность точек $\{\theta_1, \ldots, \theta_n\}$ области U. Расположение и.д.с. задается отображением ξ:

$$\mathcal{J} \rightarrow U.$$

Слой дождя Z в т. $(x, y) \in U$ равен

$$Z(\xi; x, y) = \sum_k Z_k(x, y),$$

где $Z_k(x, y)$ – слой дождя в т. (x, y) от источника $\mathcal{J}_k$ в т. θ_k.

2. Критерии равномерности полива и функции расположения и.д.с.

Для того, чтобы ввести понятие равномерного полива, надо определить меру близости слоев дождя. Эта мера может быть задана различными способами. Для наших целей удобно вводить ее с помощью функции расположения (точнее, функции, определенной на множестве расположений).

Рассмотрим различные примеры функций расположения $G(\xi)$.

За меру близости естественно взять наибольшую разность между слоями дождя в двух точках:

$$G_1(\xi) = \max_{M, N \in U} \{Z(\xi; M) - Z(\xi; N)\}.$$

При исследовании эту функцию расположения удобно представить в виде

$$G_1(\xi) = \max_{M \in U} Z(\xi; M) - \min_{M \in U} Z(\xi; M).$$

Другим важным показателем близости слоев дождя в различных точках является максимальное отклонение слоя дождя от среднего значения:

$$G_2(\xi) = \max_{M \in U} |Z(\xi; M) - Z_{ср}|.$$

Для изучения этой функции расположения удобно ввести вспомогательные функции:

$$\overline{G}_2(\xi) = \max_{M \in U} Z(\xi; M) - Z_{ср}$$

и

$$\underline{G}_2(\xi) = Z_{ср} - \min_{M \in U} Z(\xi; M).$$

Тогда неравенство $G_2 < \varepsilon$ эквивалентно системе неравенств

$$\begin{cases} \overline{G}_2 < \varepsilon \\ \underline{G}_2 < \varepsilon. \end{cases}$$

Очевидно,

$$G_1 > G_2$$

В некоторых случаях важно знать не наибольшее отклонение слоя дождя от среднего значения, а среднее отклонение:

$$G_3(\xi) = \frac{1}{\mu U} \int_U |Z(\xi; M) - Z_{ср}| \, d\mu,$$

где μ – мера в области U
Очевидно, что

$$G_3 \leqslant G_2 .$$

Осредняя отклонения слоев дождя в любых двух точках, получаем функцию расположения G_4 :

$$G_4(\xi) = \frac{1}{(\mu U)^2} \int_U \int_U |Z(\xi; M) - Z(\xi; N)| \, d\mu_M \, d\mu_N .$$

Из неравенства треугольника следует, что

$$G_4 \leqslant 2G_3 .$$

Для рассмотренных функций расположения важную роль играют функции разности слоев дождя в точках M и N :

$$U_\xi(M, N) = |Z(\xi; M) - Z(\xi; N)|$$

и отклонения слоя дождя в точке M от среднего слоя:

$$V_\xi(M) = |Z(\xi; M) - Z_{ср.}| .$$

В качестве функций расположения можно взять нормы функций U_ξ и V_ξ в гильбертовом пространстве функций – расстояние до нуля. Близость их к нулю может служить критерием равномерности полива. Нормы (обозначены двойными прямыми скобками) вводятся так:

$$\| U_\xi \| = \left(\int_U \int_U |U_\xi|^q \, d\mu_M \, d\mu_N \right)^{\frac{1}{q}} ,$$

$$\| V_\xi \| = \left(\int_U |V_\xi(M)|^q \, d\mu \right)^{\frac{1}{q}} .$$

На практике часто наблюдается прекращение полива из-за образования луж и вымочек в местах выпадения максимального слоя дождя. Оценить площадь переувлажненной и сухой области можно с помощью следующих функций расположения:

$$G(\xi)=\mu\{M\in U:|Z(\xi;M)-Z_{ср}|>\delta\}$$

или

$$G(\xi)=\mu\{M\in U:|Z(\xi;M)-S|>\delta\},$$

где S – заданный критический слой;

δ – положительное число;

μ – мера соответствующего множества точек.

Равномерность полива означает, что мера близости слоев дождя достаточно мала, т.е. мала функция расположения. Точнее, полив назовем равномерным, если функция расположения принимает свое наименьшее возможное значение, и ε – равномерным, если функция расположения не превосходит ε.

Таким образом, имеются различные типы равномерности и ε-равномерности полива. Тип равномерности (или критерий равномерности) $\mathfrak{A}$ называется более сильным, чем тип равномерности (критерий равномерности) $\mathfrak{B}$, если из ε-равномерности полива в смысле $\mathfrak{A}$ следует ε-равномерность полива в смысле $\mathfrak{B}$. Обозначим этот факт символом: $\mathfrak{A}\to\mathfrak{B}$ (стрелка направлена к более слабому критерию).

Так как для функций расположения справедливы неравенства:

$$G_1>G_2>G_3,\quad G_1>G_4,\quad G_1<2G_2,\quad G_4<2G_3,$$

то, по введенному отношению, критерии равномерности упорядочиваются следующим образом:

$$\begin{tikzcd}
\mathrm{I} \arrow[r] \arrow[d] & \mathrm{II} \arrow[l, dashed] \arrow[d] \\
\mathrm{IV} \arrow[r, dashed] & \mathrm{III}
\end{tikzcd}$$

Пунктирная стрелка означает, что из ε -равномерности в смысле критерия, стоящего у начала стрелки, ,следует 2ε -равномерность в смысле критерия, стоящего у ее конца.

Если нами уже выбраны и.д.с. $\mathcal{J}_1, \ldots, \mathcal{J}_n$ для полива, то равномерность полива зависит только от их расположения (при фиксированных метеоусловиях). Таким образом, возникают оптимальное и ε-оптимальное расположение и.д.с., соответствующие данному критерию равномерности полива. Расположение и.д.с. называется оптимальным (ε -оптимальным), если оно обеспечивает равномерный (ε -равномерный) полив. Отношение между критериями ε -равномерности определяет соответствующее отношение между критериями ε -оптимальности.

3. Однопараметрические расположения и.д.с.

Контуром полива и.д.с. назовем кривую, ограничивающую область, поливаемую данным и.д.с. Рассмотрим расположение одинаковых и.д.с.

Пусть U_k - связная область, ограниченная контурами полива и орошаемая k и.д.с. Тогда при любой перестановке этих источников полив в области U_k не изменится.

Поэтому экстремальные точки функции G следует искать в центре симметрии такой области или ее границы, на осях симметрии области и в точках пересечения контуров поливов. Это упрощает исследование функций расположения.

Важным частным случаем расположений и.д.с. являются однопараметрические расположения, т.е. такие, которые можно характеризовать одним числовым параметром. Таковыми будут расположения и.д.с. на одной линии с равными расстояниями между ними и расположения и.д.с. в вершинах равностороннего треугольника или квадрата равномерной сетки, покрывающей орошаемую область. Полив в этом случае полностью определяется расположением и.д.с.(по треугольнику, по квадрату) и расстоянием a между ними Если расположение заранее оговорено, то полив и функция расположения определяются одним числовым параметром a и вместо $G(\xi)$ можно писать $G(a)$.

Рассмотрим подробнее важные примеры однопараметрического расположения одинаковых и.д.с.: на одной прямой на равных расстояниях друг от друга и в узлах равномерной

сетки, элементарной ячейкой которой является квадрат. Очевидно, достаточно изучить оптимальное расположение двух и четырех и.д.с.

Влиянием ветра мы пренебрегаем, т.е. считаем, что слой дождя определяется только расстоянием от и.д.с. – контурами полива являются окружности. Зависимость слоя дождя от расстояния до и.д.с. по ряду опытных и расчетных данных предполагается параболической. Обработка имеющихся у нас экспериментальных данных о зависимости слоя дождя от расстояния до позиции опытного образца дальнеструйного самоходного дождевателя (ДДС–400 "Нептун") также показала удовлетворительность такой аппроксимации.

В качестве функции расположения возьмем (первый критерий)

$$G(a)=\max_{M,N}\left[Z(a;M)-Z(a;N)\right].$$

Удобно сравнивать функцию расположения с максимальным слоем дождя h от одного и.д.с. Пусть $0<\varepsilon<1$. Полив ε -оптимален для тех расположений a, которые удовлетворяют неравенству

$$G(a)<\varepsilon h.$$

Пусть $R=2\ell$ – радиус действия и.д.с., ρ_M или ρ – расстояние т. M от начала координат, φ – полярный угол, V_1, V_2 – части V, поливаемые одним и двумя и.д.с. соответственно (рис.2). Если из контекста ясно, о каком " a " идет речь, вместо $Z(a;M)$ будем для краткости писать Z_M или Z_x (x – координата M); вместо $\max_M Z(a;M)$ писать Z_{max} и т.д. Символом Z_{MN} обозначается разность слоев дождя в точках M и N

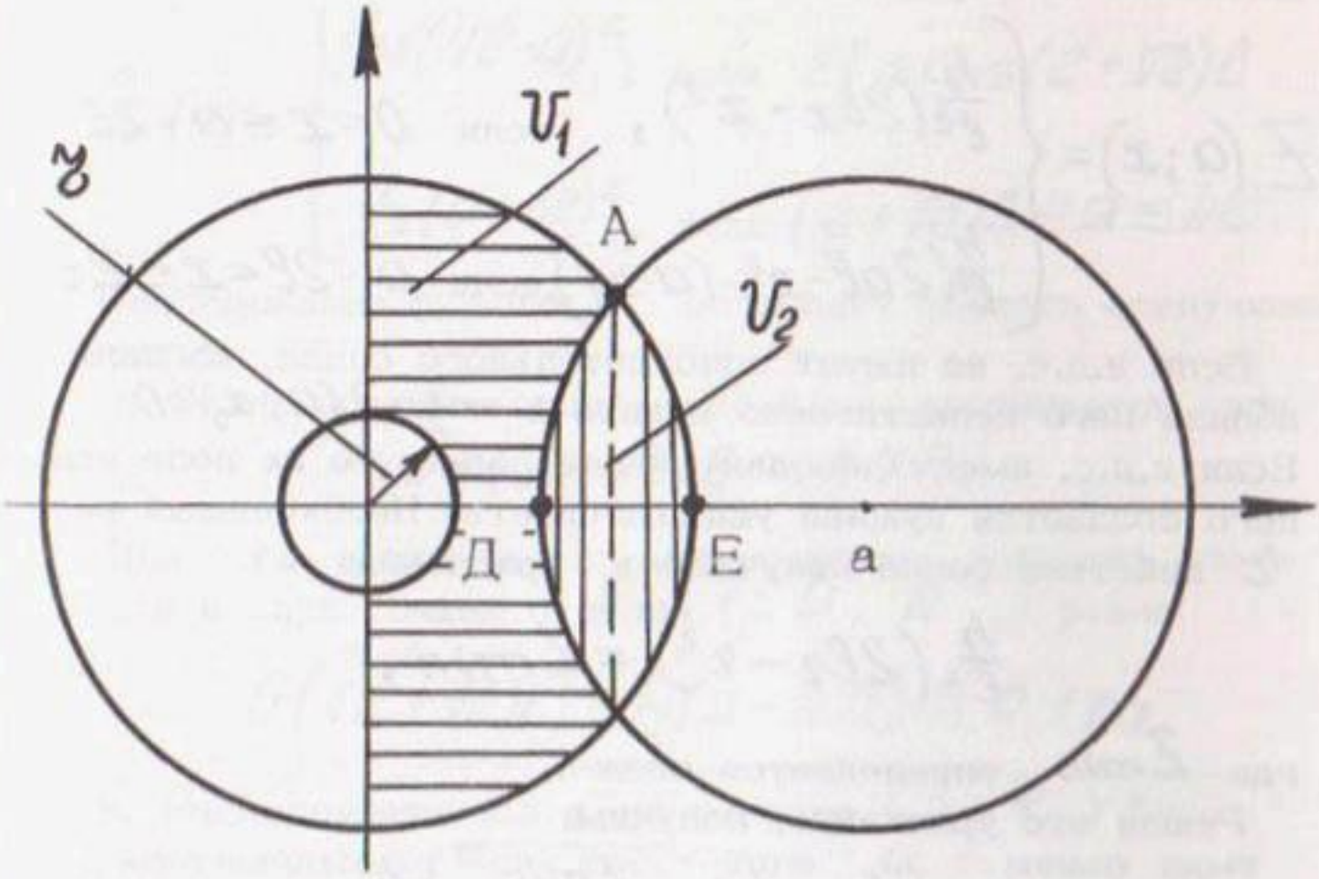


Рис.2. Расположение и.д.с. вдоль прямой: а – расстояние между и.д.с.; V_1, V_2 - области, поливаемые одним и двумя и.д.с. соответственно; r –радиус круга, дополнительно поливаемого вспомогательными соплами

4. Одномерный случай

Будем считать, что полив осуществляется только вдоль прямой, соединяющей и.д.с.

Равномерность слоя дождя достаточно изучить на отрезке $(0,2\ell)$.

Слой дождя от и.д.с., расположенных в начале координат, и в т. " a ", определяется соответственно формулами

$$Z_1 = \frac{h}{\ell^2}(2\ell x - x^2),$$

$$Z_2 = \frac{h}{\ell^2}\left(2\ell(a-x) - (a-x)^2\right).$$

Естественно считать, что $2\ell \le a \le 4\ell$.

Таким образом, слой дождя $Z(a;x)$ может быть вычислен по формуле:

$$Z(a;x)=\begin{cases}\frac{h}{\ell^2}(2\ell x-x^2), & \text{если } 0<x\le a-2\ell\\ \frac{h}{\ell^2}(2a\ell-x^2-(a-x)^2), & \text{если } a-2\ell<x\le 2\ell.\end{cases}$$

Если и.д.с. не имеет дополнительного сопла, то поле вблизи него недостаточно полито и $\min\limits_x Z(a;x)=0$. Если и.д.с. имеет дополнительное сопло, то на поле вокруг него создается нужная увлажненность. Необходимый радиус r действия сопла получаем из уравнения:

$$\frac{h}{\ell^2}(2\ell r-r^2)=Z_{min},$$

где Z_{min} определяется позже.

Решая это уравнение, получим:

$$r=\left(1-\sqrt{1-\frac{Z_{min}}{h}}\right)\ell.$$

Слой Z_α дождя от сопла определяется неравенством:

$$Z_{min}-Z(x)\le Z_\alpha\le Z_{max}-Z(x).$$

Функция Z принимает наименьшее значение в т. $a-2\ell$, а наибольшее – в т. $\frac{1}{2}a$, если $a\in[2\ell,(2+\sqrt{2})\ell]$ или в т. ℓ, если $a\in[(2+\sqrt{2})\ell,4\ell]$.

При этом

$$Z_{max}=\begin{cases}\frac{h}{\ell^2}\left(2a\ell-\frac{a^2}{2}\right), & \text{если } 2\ell\le a\le(2+\sqrt{2})\ell\\ h, & \text{если } (2+\sqrt{2})\ell\le a\le 4\ell\end{cases}$$

и

$$Z_{min}=\frac{h}{\ell^2}(6a\ell-a^2-8\ell^2).$$

Отсюда следует, что функция расположения G равна:

$$G(a)=\begin{cases}\frac{h}{2\ell^2}(4\ell-a)^2, & \text{если } 2\ell\le a\le(2+\sqrt{2})\ell\\ \frac{h}{\ell^2}(a-3\ell)^2, & \text{если } (2+\sqrt{2})\ell\le a\le 4\ell.\end{cases}$$

Исследование функции G позволяет сделать следующие выводы:

1. Оптимальное расположение и.д.с. достигается при

$$a=(2+\sqrt{2})\ell\approx 1{,}7R.$$

При этом расположении максимальная разность слоев дождя в двух точках отрезка (0; R) равна

$$G((2+\sqrt{2})\ell)=h(3-2\sqrt{2})\approx 0{,}17h.$$

2. Расположение и.д.с. на отрезке (0; R) будет ε-оптимальным, если расстояние " a " между ними удовлетворяет неравенству

$$(4-\sqrt{2\varepsilon})\ell<a<(3+\sqrt{\varepsilon})\ell. \qquad (1)$$

При этом ε-оптимальности можно достичь только если $\varepsilon\ge 3-2\sqrt{2}$.

Расстояние a между и.д.с. удобно определять по графику функции расположения.

На рис.3 единица масштаба по оси абсцисс равна ℓ, по оси ординат - h. В этом случае нормированная функция g расположения и.д.с. может быть записана в виде:

$$g(\alpha)=\begin{cases}\frac{1}{2}(4-\alpha)^2, & \text{если } 2\le\alpha\le 2+\sqrt{2}\\ (\alpha-3)^2, & \text{если } 2+\sqrt{2}\le\alpha\le 4.\end{cases}$$

При заданном ε значения α, обеспечивающие ε-равномерный полив, есть абсциссы точек графика, лежащих под горизонтальной прямой, проведенной на расстоянии ε от оси абсцисс. Соответствующие значения расстояния a между и.д.с. находятся по формуле:

$$a=\frac{1}{2}\alpha R.$$

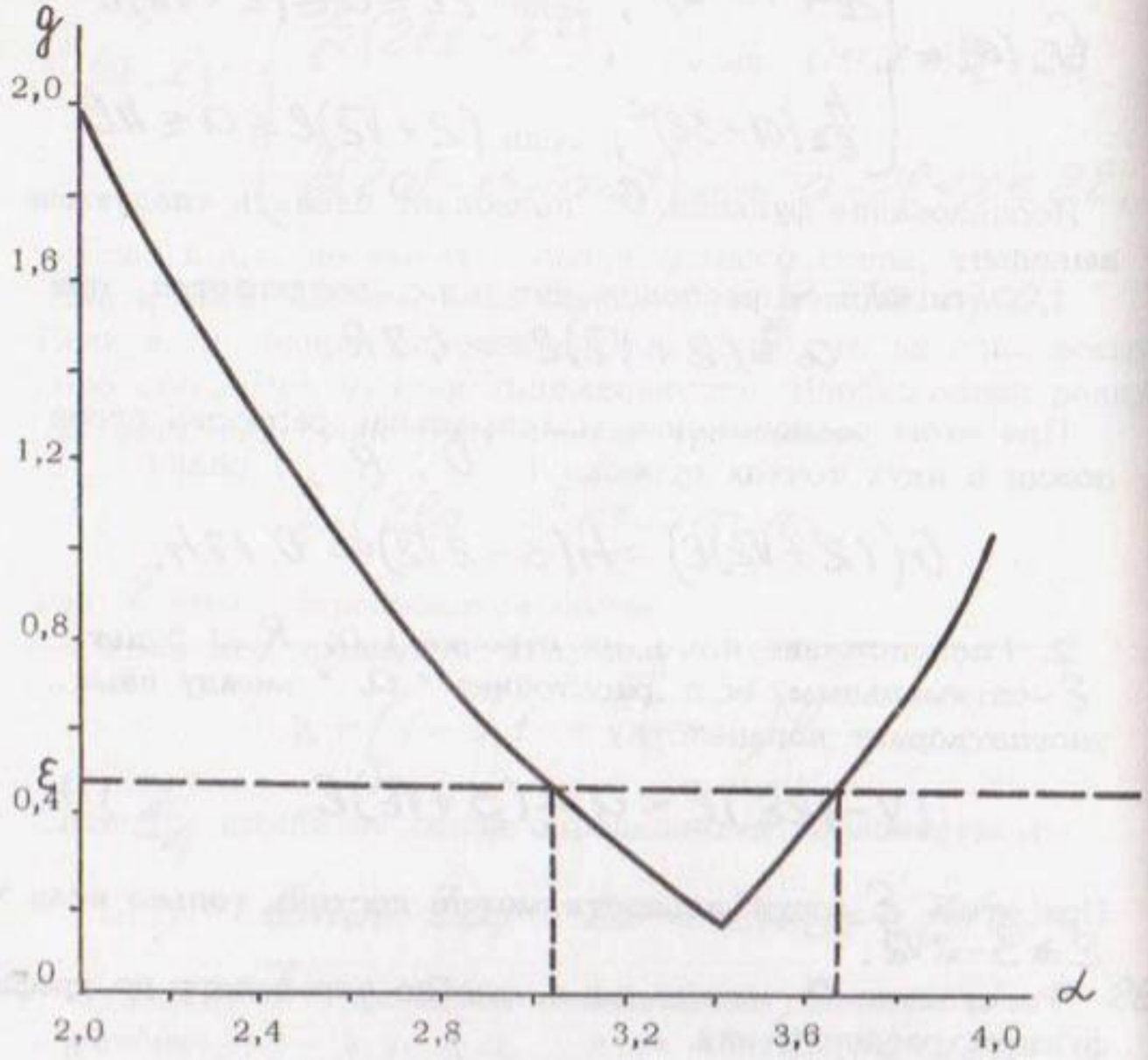


Рис. 3. График функции расположения $g(\alpha)$

5. Двумерный случай. Два и.д.с.

Пусть "a" таково, что выполнено неравенство (1). Поместим и.д.с. в начало координат и в т. ($a;0$). Тогда в силу п.4 разность слоев дождя в любых двух точках отрезка ($0;R$) меньше εh .

Слои дождя в т.М (x,y) от и.д.с., расположенных в начале координат и в т. "a", равны соответственно:

$$Z_1 = \frac{h}{\ell^2}\left(2C\sqrt{x^2+y^2} - x^2 - y^2\right)$$

и

$$Z_2 = \frac{h}{\ell^2}\left(2\ell\sqrt{(a-x)^2+y^2} - (a-x)^2 - y^2\right).$$

Точками, подозрительными на экстремум, являются т. E ($\frac{1}{2}a; 0$) и т. D ($a-2\ell; 0$) и точки окружности $\rho=\ell$ с центром в начале координат (при $a > 3\ell$).

Слои дождя в них таковы:

$$Z_E = \frac{h}{\ell^2}\left(2a\ell - \frac{a^2}{2}\right),$$
$$Z_D = \frac{h}{\ell^2}\left(6a\ell - a^2 - 8\ell^2\right),$$
$$Z_\ell = h.$$

Отсюда следует, что

$$Z_{max} = \begin{cases} Z_E, & \text{если } 2\ell \le a \le (2+\sqrt{2})\ell \\ Z_\ell, & \text{если } (2+\sqrt{2})\ell \le a \le 4\ell. \end{cases}$$

Найдем внутренний и внешний радиусы $\underline{\rho}$ и $\bar{\rho}$ кольца, в котором выполняется неравенство:

$$Z_{max} - Z < \varepsilon h, \qquad (2)$$

где Z – слой дождя в произвольной точке искомого кольца.

На промежутке $[2\ell, (2+\sqrt{2})\ell]$ неравенство (2), обеспечивающее ε -равномерность полива, выполняется, если

$$\rho^2 - 2\ell\rho + 2a\ell - \frac{a^2}{2} - \varepsilon\ell^2 < 0. \qquad (3)$$

Положим

$$\underline{\rho} = \left(1 - \sqrt{1 - 2\frac{a}{\ell} + \frac{a^2}{2\ell^2} + \varepsilon}\right)\ell,$$
$$\bar{\rho} = \left(1 + \sqrt{1 - 2\frac{a}{\ell} + \frac{a^2}{2\ell^2} + \varepsilon}\right)\ell.$$

Вещественные значения ρ существуют, если

$$(2+\sqrt{2(1-\varepsilon)})\ell \le a \le (2+\sqrt{2})\ell .$$

Для этих значений " a " решение (относительно ρ) неравенства (3) таково:

$$\underline{\rho} \le \rho \le \bar{\rho} .$$

Пусть теперь $a \in [(2+\sqrt{2})\ell ; 4\ell]$. Тогда неравенство (2) выполняется, если

$$(1-\sqrt{\varepsilon})\ell \le \rho \le (1+\sqrt{\varepsilon})\ell .$$

В этом случае, в качестве радиусов кольца возьмем

$$\underline{\rho} = (1-\sqrt{\varepsilon})\ell , \qquad \bar{\rho} = (1+\sqrt{\varepsilon})\ell .$$

Таким образом, для всех a , удовлетворяющих неравенству

$$(2+\sqrt{2(1-\varepsilon)})\ell \le a \le 4\ell \qquad (4)$$

существует такое кольцо с центром в начале координат, в котором выполняется условие

$$Z_{max} - Z < \varepsilon h .$$

Точка D принадлежит этому кольцу, если a - решение (1).

Всякое же решение неравенства (1) является решением неравенства (4). Поэтому для любого a , удовлетворяющего (1), существует пересекающееся с областью U_2 кольцо с центром в начале координат, в котором осуществляется ε -равномерный полив (рис.4).

В круге радиуса $r = \underline{\rho}$ около и.д.с. полив можно произвести дополнительными соплами (для обеспечения ε -равномерности полива во всем круге радиуса $\bar{\rho}$).

Величина долива Z_d в т. M удовлетворяет неравенству

$$Z_{min} - Z_M \le Z_d \le Z_{max} - Z_M .$$

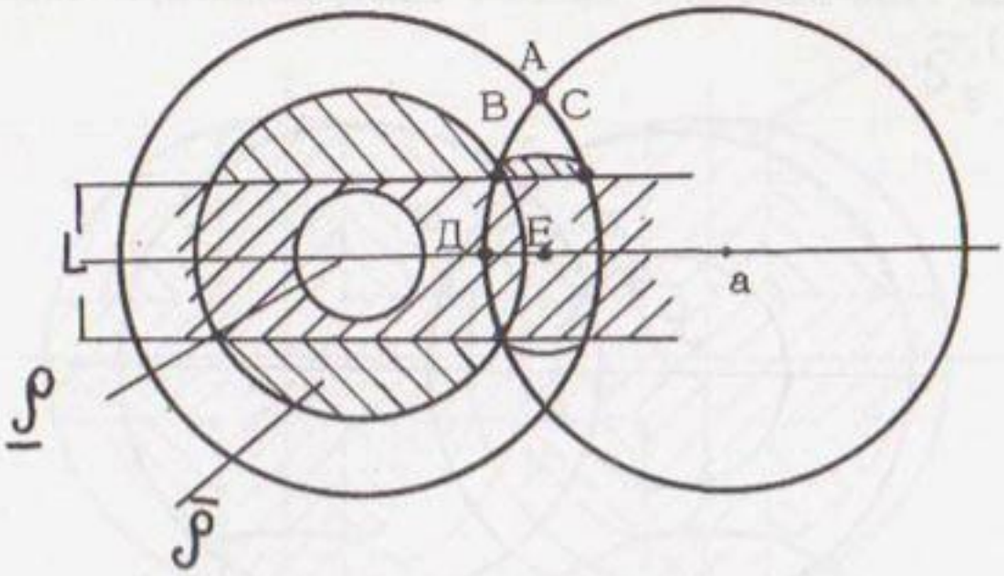


Рис.4. Выделение полосы $\mathcal{E}$ -равномерного полива:
$\underline{\rho}, \bar{\rho}$ - радиусы внутреннего и внешнего кругов кольца, политого $\mathcal{E}$ -равномерно

Укажем полосу (см.рис.4), прилегающую к линии и.д.с., в которой полив $\mathcal{E}$ -равномерен. Ширина L этой полосы определяется расстоянием от линии и.д.с. (оси абсцисс) до точки B пересечения двух окружностей - радиуса $\bar{\rho}$ с центром в начале координат и радиуса R с центром в т. a Она может быть подсчитана по формуле:

$$L = \frac{1}{a}\sqrt{(a+\bar{\rho}+R)(a-\bar{\rho}+R)(a+\bar{\rho}-R)(\bar{\rho}+R-a)}. \quad (5)$$

Обратимся теперь к области U_2, поливаемой двумя и.д.с. Исследование функции $Z(a; M)$ в области U_2 показывает, что при фиксированном y функция Z (как функция от x) имеет максимум при $x = \frac{a}{2}$.

При движении от т. B к т. A по окружности $\rho^2 + a^2 - 2a\rho\cos\varphi = R^2$ слой дождя Z убывает, так как $\rho_B > \ell$ Полив на дуге AC симметричен поливу на дуге AB Рассмотрим расположение линий уровня полива в области U_2.

Так как в интервале $(a-R, \frac{a}{2})$ функция Z возрастает при каждом y, то возможно только такое расположение линий уровня, как на рис.5: линии уровня направлены выпуклостью от оси абсцисс. Поэтому в полосе шириной L полив $\mathcal{E}$ -равномерен и в области U_2

(на самом деле область ε -равномерного полива несколько шире этой полосы - см.всю заштрихованную область на рис. 4).

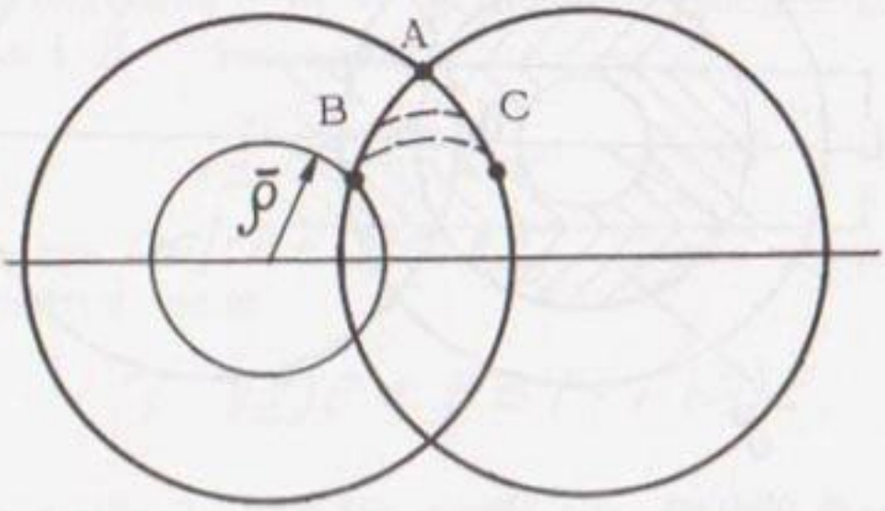


Рис. 5. Линии уровня слоя дождя в области v_2 : $\bar{\rho}$ - радиус круга, ε - равномерного полива

Минимальное значение в этой полосе слой дождя принимает в т. B :

$$Z_B = \begin{cases} \frac{h}{\ell^2}\left(2a\ell - \varepsilon\ell^2 - \frac{1}{2}a^2\right), & \text{если } (4-\sqrt{2\varepsilon})\ell < a \le (2+\sqrt{2})\ell \\ h(1-\varepsilon), & \text{если } (2+\sqrt{2})\ell < a < (3+\sqrt{3})\ell. \end{cases}$$

6. Двумерный случай. Четыре и.д.с.

Расположим четыре и.д.с. в вершинах квадрата со стороной a (рис.6), где a удовлетворяет неравенству (1).

Из вышеприведенного исследования вытекает, что площадь области S_ε , на которой осуществляется ε -равномерный полив, больше, чем (см.заштрихованную область на рис.6):

$$\tilde{S}_\varepsilon = 2aL - \pi\bar{\rho}^2 + 4\bar{\rho}^2 \arccos\frac{L}{2\bar{\rho}} - L\sqrt{4\bar{\rho}^2 - L^2}.$$

Площадь поливаемой части может быть подсчитана по формуле:

$$S_n = \pi R^2 - 4R^2 \arccos\frac{a}{2R} + a\sqrt{4R^2 - a^2}.$$

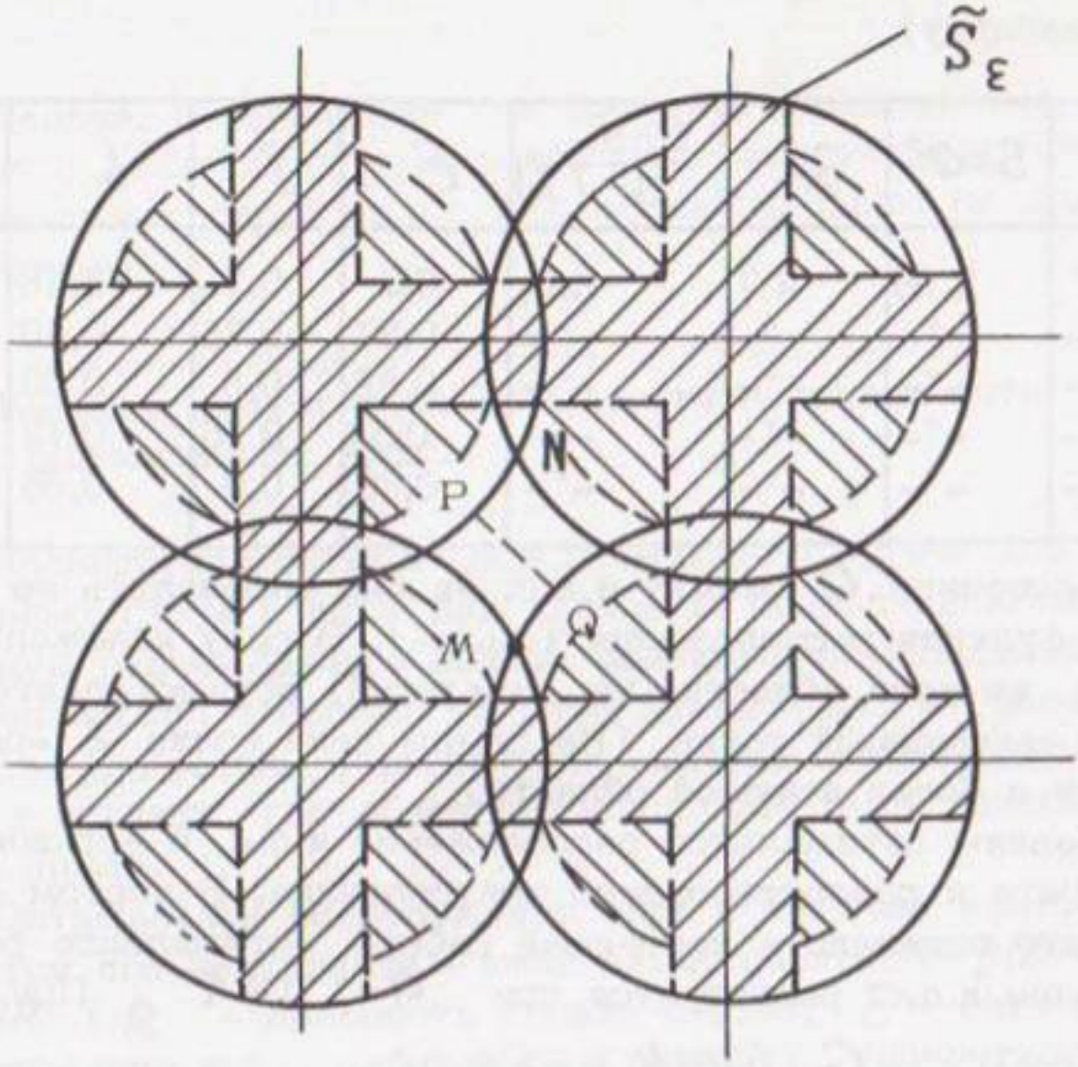


Рис. 6. Расположение четырех и.д.с. в вершинах квадрата:
PQ – средняя линия неполиваемой области,
MN – диаметр неполиваемой области

Увлажнение почвы на неполитой области может быть приемлемым за счет краевого эффекта или перераспределения поливной воды по поверхности почвы. Для оценки этой возможности вычислим среднюю линию PQ и диаметр MN неполитой части (см.рис.6):

$$PQ = a\sqrt{2} - 2R,$$

$$MN = a - \sqrt{4R^2 - a^2}.$$

Для оптимального расположения и.д.с. ($a \approx 1{,}7R$) эти формулы дают

$$PQ = 0{,}38\,R$$
$$MN = 0{,}64\,R$$

Приведем расчет по полученным формулам для оптимального значения a (при $R=1$) и различных значений ε (см.таблицу).

a	$S=a^2$	S_n	$\frac{S-S_n}{S}$ (%)	ε	$\bar{\rho}$	L	$\tilde{S}_\varepsilon$ (%)
1,7	2,89	2,7	6,6	0,2	0,7	0,18	57
–"–	–"–	–"–	–"–	0,27	0,75	0,40	66
–"–	–"–	–"–	–"–	0,38	0,8	0,59	75
–"–	–"–	–"–	–"–	0,51	0,85	0,72	84
–"–	–"–	–"–	–"–	0,66	0,9	0,85	87

Расстояние a между и.д.с. удобно определять по графику функции расположения (см.п.4). В силу изложенного выше, во всей области $\tilde{S}_\varepsilon$ (см.рис.6) осуществляется ε-равномерный полив. (На самом деле полив ε-равномерен в более широкой области).

Сравним оптимальное расположение и.д.с. в вершинах квадрата и равностороннего треугольника. В первом случае, как это показано в настоящей работе, оптимальное расположение и.д.с. реализуется при $a=1{,}707\,R$. При этом

$$G(1{,}707R)=\varepsilon h.$$

Можно показать, что во втором случае оптимальное расположение имеет место при $a \doteq 1{,}503\,R$ и

$$G(1{,}503\,R)=0{,}57\,h.$$

Если $\varepsilon=0{,}51$, то на площади, большей, чем $\tilde{S}_\varepsilon$ (см.табл.) разность слоев дождя в любых двух точках меньше, чем $0{,}51\,h$. Таким образом, в области S_ε полив более равномерный, чем в области U при оптимальном расположении и.д.с. в вершинах треугольника. Так как область $\tilde{S}_\varepsilon$ образует лишь 84% поливаемой площади, то расположение и.д.с. по треугольнику может оказаться предпочтительнее, ибо в этом случае разность слоев дождя в любых двух точках более широкой области U меньше, чем $0{,}57\,h$.

Выводы

1. Задачи, возникающие при орошении дождеванием, связанные с выбором оптимального расположения источников дождевальных струй (и.д.с.), классифицированы на прямые и обратные.

2. Введены критерии равномерности полива и оптимальности расположения и.д.с.

3. Исследовано оптимальное размещение источников дождевальных струй в вершинах квадрата, обеспечивающего заданную равномерность полива в некоторой области при параболической зависимости слоя дождя и.д.с. от расстояния до него. Приведены формулы для расчета поливаемой площади и площади, где обеспечивается требуемая равномерность дождя.

4. Оптимальное расположение двух и четырех и.д.с. реализуется при расстоянии между ними, равном $a=\frac{1}{2}(2+\sqrt{2})R\approx$ $\approx 1{,}7R$ (R – дальность полета струи); ε – оптимальное расположение и.д.с. наблюдается при a , удовлетворяющем неравенству:

$$\frac{1}{2}(4-\sqrt{2\varepsilon})R<a<\frac{1}{2}(3+\sqrt{\varepsilon})R .$$

Ширина полосы ε -равномерности полива может быть найдена по формуле (5) :

$$L=\frac{1}{a}\sqrt{(a+\bar{\rho}+R)(a-\bar{\rho}+R)(a+\bar{\rho}-R)(\bar{\rho}+R-a)} .$$

5. При уменьшении ε сужается как полоса, в которой осуществляется ε -равномерный полив, так и промежуток, в котором выбирается a . При $\varepsilon=3-2\sqrt{2}$ существует единственное значение a , для которого можно указать полосу ε -равномерного полива. Если $\varepsilon<3-2\sqrt{2}$, то нужного значения a не существует.

TSIPRIS D.B., BELINSKY S.M. CRITERIA OF WATER DISTRIBUTION UNIFORMITY AND OPTIMAL LOCATION OF SPRINKLER JET OUTLETS

SUMMARY

The paper describes optimal location of sprinkler jet outlets under irrigation and suggests the criteria derived concerning water distribution uniformity and optimization of location of sprinkler jet outlets. Formulas to calculate the irrigated area ensured with the required rain intensity are suggested.

УДК 626.845.002.5

Докт.техн.наук С.Х.Гусейн-Заде
(АзНИИГиМ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МНОГООПОРНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН

Многоопорные дождевальные машины в зависимости от способа передвижения делятся на колесные дождевальные трубопроводы, перемещаемые путем их вращения за счет момента кручения, и на трубопроводы, перемещаемые на самоходных тележках. Первые могут применяться только для полива низкостебельных культур, к тому же при перекатывании нарушается прямолинейное положение оросительного трубопровода. В связи с этим за последние годы все большее распространение стали получать дождевальные машины на самоходных тележках. Оросительный трубопровод в таких машинах может быть установлен на требуемой высоте. При этом трубы не скручиваются и легко обеспечивается передвижение агрегата, как фронтальное, так и по направлению оси трубопровода.

Хотя эти машины более сложны и металлоемки, они необходимы в тех случаях, когда применение перекатываемых колесных машин невозможно.

На многоопорных дождевальных машинах могут быть применены коротко-, средне- и дальнеструйные дождевальные аппараты.

Для позиционного полива и передвижения параллельно оси трубопровода рекомендуется квадратное расположение аппаратов. В этом случае расстояния между аппаратами могут быть определены по формуле:

$$l = 1{,}42(\Sigma K')\frac{2\mu^2 H \sin 2\alpha}{1+\mu^2(1+e^{H(1{,}6d)})\frac{H}{d}}\cdot\left(0{,}34e^{-0{,}35 v_в}+0{,}66\right),$$

где $(\Sigma K')$ – коэффициент, учитывающий уменьшение дальности полета струи вследствие вращения ствола, наличия отсекателей и др;

$v_в$ – скорость ветра;

$\frac{H}{d}$ – отношение напора к диаметру сопла.

Приняв на основании анализа конструкций дождевальных аппаратов $(\Sigma K') = 0{,}85$; $\frac{H}{d} = 2$ м/мм; коэффициент расхода $\mu = 0{,}96$ и угол наклона ствола $\alpha = 32^{\circ}$, получим

$$\ell = 1{,}206 \cdot H_0 (0{,}34 e^{-0{,}35 V_\ell} - 0{,}66).$$

При наличии n дождевальных аппаратов ширина захвата машины будет: $L_M = n\ell$.

Далее определяем среднюю интенсивность дождя:

$$\rho_{ср.} = \frac{60 \cdot Q}{F} \quad и \quad F = \ell L_M$$

(F – площадь полива машиной с позиции).

Учитывая, что при расчете дождевальных машин принимают среднюю скорость ветра 2–4 м/с, приведенные выше формулы для этих условий примут вид:

$$\ell = 0{,}94 H,$$
$$L_M = 0{,}94 nH,$$
$$Q = \frac{1}{67{,}8} \rho_{ср} H n.$$

Расход одной насадки – q и агрегатов – Q может быть установлен по формулам:

$$q = 3{,}34 \cdot d^2 \sqrt{H} \quad и \quad Q = nq \ л/с.$$

При работе дождевальной машины, производящей полив по кругу, на центральной части его машина передвигается с малой линейной скоростью по сравнению с периферийной частью, следовательно, дождевальные аппараты по длине трубопровода должны иметь разную интенсивность полива, увеличивающуюся к концу трубопровода. Для определения параметров дождевальных аппаратов должны быть заданы длина машины R и радиус действия концевого аппарата r.

Для определения площади захвата за основание сектора принимаем диаметр действия конечного аппарата. При этом площадь полива промежуточным аппаратом F_i и машиной F_M будет:

$$F_i = \frac{4r}{R} R_i r_i \quad и \quad F_M = \frac{r}{R}(R + r)^2$$

(R_i и r_i – расстояние от центра до промежуточного дождевального аппарата и его радиус действия).

Расход воды промежуточного аппарата:

$$q_i = \frac{1}{15} \rho \frac{r}{R} R_i r_i .$$

Полный расход машины $Q_M = \frac{1}{15} \rho \frac{r}{R} \sum_0^n R_i r_i$,

или $Q_M = \frac{1}{60} \rho \frac{r}{R} (R + r)^2$.

Слой осадков: $h_n = \rho \frac{r}{30 \omega R}$

(ω – угловая скорость в радианах, равная, с учетом времени оборота по одному кругу, Т час:

$$\omega = \frac{1}{1,75 \cdot 10^{-3} T}).$$

Следовательно, зная значение ρ, R_i, q_i и r_i, можно определять параметры дождевальных аппаратов.

С целью унификации узлов машины принимается 4–6 типов дождевальных аппаратов. Расстояние между аппаратами составляет 8–16 м, причем на первых тележках (четверть или половина длины) оно равно 10–16 м. Обычно принимается 2 или 4 типа расстояний между аппаратами. Расход и радиус действия аппарата регулируют вентилем.

Методика расчета оросительных трубопроводов самоходных дождевальных машин зависит от принципиальной схемы машины. Например, при передвижении оросительного трубопровода путем его вращения трубы подвергаются сложным деформациям вследствие совместного действия кручения, изгиба и колебания, а трубопровод на самоходных тележках в основном подвергается изгибу и колебаниям. Характер изменения этих деформаций и устойчивость системы также зависят от расстояний между опорами, способа подвески оросительного трубопровода и технологии полива.

Машины позиционного действия передвигаются после частичного слива воды из трубопровода, благодаря чему значительно снижается напряженность его, а в машинах, работающих в движении, трубопровод постоянно находится в максимально загруженном состоянии. Поэтому нельзя рекомендовать для всех возможных вариантов единую схему расчета.

Для многодвигательных систем на самоходных тележках по рекомендуемой нами методике должны быть исключены расчеты трубопровода на прочность, учитывающие крутящий момент. При наличии подвески в виде вантов или жесткой фермы расчеты проводят по общеизвестной методике. При этом условно принимают, что все опоры лежат на одной прямой линии и неподвижны в вертикальном направлении. Эти ограничения позволяют, используя известные формулы, выявить характер изменений крутящего момента $M_{кр}$, определить угол кручения φ_0 и напряжение σ в зависимости от расстояния между опорами, рассчитать трубопровод на прочность, как многоопорную балку. Ввиду симметричности машины в расчетах рассматривается лишь одно крыло. Для удобства определения частот собственных колебаний и упрощения статического расчета пролет с консольной частью исключается, ввиду того, что ближайший к концевой тележке пролет будет максимально загружен.

Если отдельно рассматривать n-й пролет, то в основной системе он представляет шарнирно-опертую балку, на которую действуют равномерно распределяемая нагрузка q и опорные моменты M_n и M_{n-1}, равные $M_{on} = \frac{q\ell^2}{12}$. Положительный изгибающий момент будет наибольшим посредине пролета: $M_{max} = +\frac{q\ell^2}{24}$. При этом максимальный прогиб $y_{max} = -\frac{q\ell^2}{384EJ}$, где ℓ – расстояние между опорами; E – модуль упругости; J – осевой момент инерции.

Рассчитывать трубопровод на прочность следует применительно к двум случаям: для процесса полива и для процесса передвижения машины с позиции на позицию. Допустимая длина пролета определяется из условий прочности на изгиб в момент полива, когда действующая нагрузка "q" максимальная:

$$[\ell] = \sqrt{\frac{12 \cdot K_3 \cdot W[\sigma]}{q}}.$$

На машинах с самоходными тележками допустимое расстояние между опорами при использовании стальных труб равно 8–10 м и алюминиевых — 10–14 м, а на машинах с самоходными тележками в зависимости от способа подвески и типа оросительного трубопровода расстояние между

опорами может быть принято: без подвески 10–12 м, с легкой тросовой подвеской 16–20 м, с вантовой подвеской 20–30 м и при фермах треугольного сечения 35–50 м.

Допустимую длину агрегата определяют, исходя из условия прочности при совместном действии изгиба и кручения в случае смены позиций:

$$[L]=\frac{16}{q}\sqrt{\frac{W^2[\sigma]-M^2_{из.}}{f_к^2\cdot R_к^2}}-\frac{G_к}{q}n,$$

где $K_з$ – коэффициент запаса;
W – момент сопротивления;
$[\sigma]$ – допустимое напряжение;
$M_{из.}$ – изгибающий момент;
f – коэффициент сопротивления перекатыванию;
$R_к$ – диаметр колеса;
$G_к$ – вес колеса;
n – количество опор.

Проверка труб на кручение:

$$\varphi^0=\frac{M_{кр.max}}{G\cdot J_p}\cdot\frac{100\cdot 180^0}{\pi}<[\varphi^0] \text{ и } [\varphi^0]\leq 2^0 \text{ на } 1 \text{ м}$$

(G, J_p – жесткость при кручении).

Полный угол кручения:

$$\varphi^0=\frac{M_{кр}\cdot l}{G J_p}\sum_{n=1}^{m} n\cdot\frac{180}{\pi}.$$

Для учета динамических нагрузок, возникающих при движении машины, приближенным способом определяют низшую угловую частоту собственных колебаний. Для этого нами выведена следующая зависимость:

$$\omega=\frac{310}{l^2}\sqrt{\frac{EJ}{q}}\ \frac{1}{сек}.$$

Определяем значения коэффициента динамического напряжения:

$$\mu_д=\frac{\sigma_{ст}+\sigma_{дин}}{\sigma_{ст}}.$$

Коэффициент динамического напряжения будет:

$$\sigma_{дин} = \frac{4{,}06 \cdot y_{max} \cdot \omega^2 \cdot q \cdot l^2}{R_0^2 \cdot t}.$$

В этих расчетах не учитываются реальные условия работы трубопровода и воздействия на него факторов, связанных с неровностями рельефа.

Для уточнения расчета рассматриваются два случая: провисание колеса и его подъем. В первом случае для расчета применяется вышеприведенная методика, только для n-го пролета длина его удвоена по сравнению с остальными и на него дополнительно действует сосредоточенная нагрузка от веса колеса. Расчеты показывают, что провисание колеса может быть при расстоянии между колесами 5–8 м. При большем расстоянии провисания колеса не будет ввиду гибкости трубопровода.

Во втором случае повышение опоры вызывает дополнительный отрицательный момент. Для уменьшения этого момента желательно выравнивание рельефа местности и снижение жесткости системы.

Существующее положение об улучшении проходимости машины с увеличением диаметра колес относится к обычным транспортным машинам, в которых вес колес составляет незначительную часть общей массы. В многоопорных дождевальных машинах (особенно перекатываемых) это положение при определенном сочетании диаметра колес, их веса и типа применяемых трубопроводов не подтверждается. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что в этих машинах применение колес малого диаметра вызывает улучшение проходимости, повышение ветроустойчивости и снижение энергоемкости. Поэтому рекомендуется при выборе диаметра колес исходить из высоты орошаемых культур. При решении этого вопроса применительно к системам на самоходных тележках следует ориентироваться на допустимое удельное давление колеса на почву.

Мощность, необходимая для передвижения агрегата, может быть установлена по формуле: $N = n_T \cdot N_T$; мощность, необходимая для передвижения одной самоходной тележки:

$$N_T = N_f + N_\delta + N_K \pm (\Delta N_f + N_b + N_i + N_j);$$

мощность, затраченная на перекатывание N_f и буксование N_δ :

$$N_f + N_\delta = \frac{f \cdot G(1+\delta) \cdot v}{270 \cdot \eta},$$

где G – вес машины; δ – коэффициент буксования; η – к.п.д. передачи.

Для выбора мощности двигателя большое значение имеет скорость передвижения машины v. Как известно, с увеличением скорости увеличивается коэффициент использования машинного времени $K_{вр}$. Одновременно увеличивается потребная мощность и динамическая нагрузка. Поэтому скорость передвижения машины должна быть минимальной при достаточно высоком $K_{вр}$.

Теоретические исследования показывают, что для многоопорных машин позиционного действия скорость передвижения не должна превышать 5–10 м/мин.

При движении многоопорных машин повышенная их гибкость и неровный рельеф обусловливают анизотропное качение. Однако в связи с отсутствием достаточно точных расчетных формул для этого вида качения можно вести расчет для многоопорных машин на колесах с металлическим ободом по формулам для нормального качения, а коэффициент сопротивления перекатыванию определять по формуле А.К.Бируля с учетом поправочного коэффициента K, установленного нами на основании экспериментальных исследований с учетом прочности грунта E.

Для колес, не имеющих почвозацепов,

$$K = 1{,}129 + E\,(0{,}0055 + 0{,}0004E)$$

при $E = 5–16$ кг/см^2

и $K = 1{,}276 - 0{,}0004E$

при $E = 16–50$ кг/см^2.

Для колес с почвозацепами $K = 2{,}754 - E\,(0{,}133–0{,}0036E)$ при $E = 8–32$ кг/см^2.

При прочности грунта более 40–50 кг/см^2 указанные коэффициенты практически остаются постоянными.

Опыты показывают, что при соответствующей форме почвозацепов и определенной расстановке их на колесах можно обеспечить прямолинейность движения колесных дождевальных трубопроводов при перекатывании.

На прочных грунтах лучшие результаты дают цилиндрические почвозацепы, а на легких (вспаханных) почвах – пластинчатые.

При расчетах коэффициент буксования как для транспортных машин, так и для машин на самоходных тележках принимают равным 15–20%. Для колесных машин с вращающимся трубопроводом величина допустимого буксования ограничивается величиной забегания концов трубопровода и не должна превышать 2–5%.

Коэффициент, учитывающий мощность, затрачиваемую на преодоление неровностей микрорельефа, – ΔN_f при работе многоопорных машин, для сложных микрорельефных условий рекомендуется принять равным 1,5.

Мощность, затраченная на преодоление ветровых нагрузок, определяется по формуле, выведенной нами для дождевальных машин:

$$N_B \cong \frac{v \cdot v_B^2 \cdot \sum_1^n C \cdot D_i \cdot l_i}{2750 \cdot \eta},$$

где C – коэффициент воздушного сопротивления;

$D_i \cdot l_i$ – диаметр и длина трубчатых пролетов машины.

Мощность, потребная для вращения изогнутого трубопровода при радиусе кривизны R, определяется по формуле:

$$N_K = 1{,}53 \cdot 10^{-5}\, l_M \cdot v \cdot R^{1{,}644}$$

Многоопорные дождевальные машины в конструктивном отношении являются "гибкими", вследствие чего в этих условиях будут гистерезисные потери мощности, возрастающие по мере увеличения длины трубопровода.

На основе проведенных опытов и теоретических исследований установлена следующая зависимость затраты мощности на гистерезисные потери от длины трубопровода на перекатываемых машинах:

$$N_n = 5{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot l_M^{1{,}92}.$$

Мощность, затраченная на преодоление подъема N_i, определяется по общеизвестной формуле. Ввиду малой скорости мощность, затраченная на инерционные усилия N_j, может быть принята равной нулю.

После выявления энергетических параметров необходимо провести проверочный расчет на проходимость машины по общеизвестным формулам. В случае недостаточной проходимости необходимо изменить диаметр и ширину колеса или установить дополнительные почвозацепы.

GUSSEIN-ZADE S.H. DETERMINATION OF DESIGN FEATURES OF MULTI-TOWER SPRINKLER SYSTEMS

SUMMARY

The paper suggests the methods and recommendations on designing sprinkler wheel-type pipelines shifted either due to rotation of wheels (torque) or self-propelled towers. The relationships of distances between sprinkler apparatuses, average rain intensity, distances between towers (carts) and pipeline lengths are given.

УДК 626.844.001.2(575)

В.М.Легостаев (САНИИРИ),
Н.Р.Хамраев (Главсредазирсовхозстрой),
Э.Л.Окулич-Козарин (Средазгипроводхлопок)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРИПОЧВЕННОГО ПОЛИВА В ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

Широко распространенный в аридной зоне бороздковый полив, несмотря на все усовершенствования, практически не может обеспечить существенного сокращения расходования воды. Значительное испарение со свободной поверхности и из верхних слоев почвы, тяжелый труд и невысокая производительность поливальщиков, распространение по полю семян сорняков с водой и непреодолимые пока трудности по автоматизации - главные его недостатки.

В Голодной степи в 1970 г. начато изучение внутрипочвенного полива, который должен резко уменьшить расход воды и трудозатраты на выращивание сельскохозяйственных культур. Под опыт был выбран участок земли площадью 10 га в совхозе № 28, в 1972 г. в совхозе № 1 на 8 га, а в 1973 г. - в совхозе № 10-А на площади 4 га и в совхозе "40 лет Таджикистана" на площади 4 га. Более детальные исследования проводились в совхозе № 28. Здесь опытный участок был разбит на 35 делянок (из них две - защитные), каждая шириной 14,4 м, длиной 200 м, площадью 2880 м^2. Повторность каждого варианта опыта трехкратная.

На каждой такой делянке могло разместиться 24 рядка растений хлопчатника с шириной междурядий 60 см и 16 рядков с шириной 90 см.

Полиэтиленовые трубы-оросители намечалось уложить через 60 и 90 см одна от другой. Но в первый же год исследований было установлено, что увлажнение почв происходит вполне удовлетворительно при расстоянии между трубами 90 см. Поэтому на участках, где намечалось заложить трубы через 60 см, они были уложены через одно междурядье (с расстоянием между ними 120 см) на 10 делянках, а в нижней части на трех делянках через 180 см.

Трубы-оросители с внутренним диаметром 38, 28 и 16 мм укладывали на глубину 45-50 см.

На специально сконструированном станке делали перфорацию по обеим сторонам трубы в один ряд, что должно было уменьшить опасность их заиления в процессе полива. Размер отверстий около 2 мм; шаг 10–20 мм.

В начальной части оросителей (до 150 м) применяли трубы диаметром 38 мм, в конечной части – диаметром от 28 до 16 мм. Концы труб-оросителей на всех опытных делянках (начиная со 170 до 200 м) имели диаметр 16 мм и выходили в открытую траншею. Контролем служили 9 делянок с обычным бороздковым поливом.

При посеве хлопчатника на опытных и контрольных делянках в 1970 и 1971 гг. расстояние между рядами составляло 90 см, а в 1972 г. – 60 см. На двух делянках (3-й и 4-й) расстояние между рядами растений составляло 30 см, а между гнездами 10 см (1 растение в гнезде).

Оценка всех исследовательских работ в конечном итоге сводилась к тщательно проводимому учету урожая, полученного в зависимости от межтрубных расстояний, диаметров уложенных труб-оросителей, величины поливных норм, расстояния от распределительной трубы.

При анализе данных 1971, 1972 и частично 1973 гг. не было обнаружено существенных изменений урожая хлопка на участках, расположенных по длине труб-оросителей (табл.1).

Таблица 1

Делянки	Урожай хлопка-сырца, ц/га, на участке трубы-оросителя, м			
	0–100	100–150	150–170	170–200
Опытные	30,3	30,9	32,0	32,0
Контрольные	28,1	29,8	29,3	27,7

Равномерность урожая объясняется относительной равномерностью увлажнения по всей длине опытных делянок. Незначительное повышение урожая в конце опытных делянок очевидно, получилось вследствие дополнительного напора, создаваемого уклоном местности и соответственного увеличения влажности почвы.

Таблица 2

Поливная норма, $м^3$/га	Урожай хлопка-сырца, ц/га, собранный на участках с расстоянием между трубами, см					
	120		90		контроль	
	всего	до мороза	всего	до мороза	всего	до мороза
1000	36,4	29,2	35,3	23,1	36,9	27,0
800	37,2	27,8	35,6	24,8	36,9	27,7
600	38,0	29,4	36,6	25,4	35,3	26,0

Более низкий урожай на контроле объясняется меньшим увлажнением. В 1972 г. урожай хлопка при расположении труб-оросителей через 90 и 120 м оказался наиболее низким на участках от начала труб-оросителей до 150 м, где заканчиваются трубы диаметром 38 мм. Далее на участках, где проходят трубы, диаметр которых уменьшается с 38 до 28 и 16 мм, урожай повышается.

Урожай хлопка-сырца при внутрипочвенном орошении поливными нормами 600-800 $м^3$/га и расстоянии между увлажнителями 90 см был равен 31,5 ц/га, при 120 см - 32,5 ц/га (на 2,9 и 3,9 ц/га соответственно больше, чем на контроле, где урожай составил 28,6 ц/га).

Сопоставляя данные об урожае, собранном до мороза в 1972 г., можно увидеть, что наибольших величин он достигал (при всех поливных нормах) на участках с межтрубным расстоянием 120 см (табл.2).

Следует отметить, что если на начальных участках (в пределах 0-100 м) различие в урожаях было невелико, то затем оно достигает - 8,9 ц/га. Это объясняется переувлажнением почв при относительно небольшом расстоянии между трубами, а также неравномерным распределением питательных элементов в процессе полива.

Изменения урожая хлопка-сырца в зависимости от диаметра труб-оросителей и расстояния между ними показано в табл.3.

Таблица 3

Диаметр труб-оросителей, мм	Урожай хлопка-сырца, ц/га, собранный на участках с расстоянием между трубами, см			
	120		90	
	всего	до мороза	всего	до мороза
38	37,1	29,6	36,0	26,2
28	36,3	25,2	34,5	17,2
16	38,8	26,0	35,9	17,1

Какой-либо отчетливой закономерности получения урожая в зависимости от использования труб-оросителей различных диаметров не установлено. Вероятно, это объясняется небольшой длиной труб малого диаметра (20 и 30 м). В дальнейшем необходимо испытать трубы различных диаметров при более значительной их протяженности.

На двух опытных делянках (3-й и 4-й) внутрипочвенного полива посевы хлопчатника были произведены по схеме 30x10x1. На делянке 2-й и 3-й трубы-оросители уложены на расстоянии 120 см, а посев хлопчатника на делянке 2-й произведен по схеме 60x22x2.

Сравнивая урожаи хлопка, полученные на делянках 2-й и 3-й, видим, что на загущенных посевах урожай значительно изменялся по длине участка (от 37,8 до 58,5 ц/га), причем по доморозным сборам он резко снижается от начала к концу поля. Этого нет при более свободном расположении растений.

На контрольных делянках, в отличие от опытных, производился обычный полив по бороздам и послеполивное рыхление смоченной части борозды. Так как поливные нормы на контрольных делянках колебались от 1070 до 1250 м^3/га (при заданных нормах 800 и 600 м^3/га), добиться равномерного увлажнения поля по всей длине делянки (200 м) не удалось.

На контрольных участках также наблюдалось резкое снижение урожая (общего и доморозного сбора) от начала борозды к концу ее.

Наибольший общий урожай хлопка получен при повышенных поливных нормах 1250 и 1130 м^3/га, а по доморозным сборам при нормах 1130 и 1070 м^3/га (табл.4).

С увеличением поливных норм затраты воды на центнер урожая увеличиваются. Общие затраты воды при внутрипочвенном поливе составили 66% по сравнению с бороздковым.

Анализ данных (табл.4) показывает, что прибавка урожая при внутрипочвенном поливе составляет 10 ц/га, а оросительные нормы при внутрипочвенном поливе по сравнению с бороздковым составляют соответственно 77, 69 и 52%.

В 1973 г. в Голодной степи на опытном участке внутрипочвенного полива в среднем был получен урожай свыше 40 ц/га.

На опытно-производственном участке площадью 4 га, где трубы-оросители диаметром 22 и 28 мм были проложены на расстоянии 120 см и загущенный посев был произведен на всей площади по схеме 30:10:1, в среднем урожай составил 50 ц/га.

Таблица 4

Фактические нормы, м³/га		Урожай, ц/га		Затраты воды, м³/ц	
поливные	оросительные	общий	1-го сбора	на общий урожай	на 1-й сбор
		Внутрипочвенный полив			
1000	4780	35,8	26,2	133	182
800	3870	36,4	26,3	107	148
600	2780	37,3	27,4	75	102
		Бороздковый полив			
1250	6240	36,9	27,0	170	230
1130	5650	36,9	27,7	154	205
1060	5330	35,3	26,0	152	205

Выводы

Анализ результатов исследований системы внутрипочвенного полива хлопчатника на различных участках в Голодной степи позволяет сделать следующие предварительные выводы:

1. При обычных междурядьях 90 или 60 см урожайность хлопчатника достигает 32–43 ц/га, что, как правило, на 2–4 ц/га больше, чем получают на хорошо ухоженных контрольных полях бороздкового полива.

2. Указанные урожаи получены при затратах воды в 1,5 раза меньших, чем при хорошо организованном бороздковом поливе и в 2 раза меньших по сравнению с обычными производственными поливами в хлопководческих хозяйствах.

3. Поверхность почвы остается сухой и рыхлой, благодаря чему при применении соответствующих гербицидов можно сократить число механизированных и ручных междурядных обработок посевов, а в дальнейшем стремиться к полной ликвидации их (возможность этого должна быть еще тщательно проверена). Успешный опыт посева хлопчатника с загущенными 30-сантиметровыми междурядиями показал, что за счет высокой густоты стояния достигается высокая урожайность – 44–56 ц/га.

4. Растворимые минеральные удобрения легко попадают непосредственно в корневую систему растений.

5. Весь процесс полива осуществляется легко и сводится к открытию и закрытию задвижки на распределителе. Таким образом, нет необходимости содержания поливальщика в обычном понимании этого слова.

6. Опыты позволили выяснить, что поливные трубки диаметром 38 мм успешно заменяют трубки диаметром 30, 20 мм и менее. Оптимальные расстояния между трубками для данных почв вероятно находятся в пределах 1,2–1,5 м. То и другое открывает перспективы для существенного сокращения стоимости системы внутрипочвенного орошения. Затраты денежных средств на оборудование такой системы (при надлежащей механизации укладки трубок в почву), примерно составляющие 1800–2000 руб/га, окупятся за период от трех до шести лет.

7. После третьего года эксплуатации опытного участка в совхозе "Самарканд" обнаружено частичное заиление дна и боковых стенок трубок, ликвидированное с помощью мотопомпы, развивающей давление 3–4 ат. На одновременную промывку двух трубок затрачивалось 8–12 минут.

8. Пока не получено каких-либо данных, свидетельствующих об опасном накоплении солей в корнеобитаемом слое при внутрипочвенном поливе. Этот вопрос является одним из важнейших для земель, склонных к засолению.

Исследования на опытных участках в совхозах Голодной степи позволили установить несомненную эффективность внутрипочвенного полива хлопчатника, расширили представления о возможностях этого способа, показали достоинства и недостатки отдельных конструктивных решений.

В ближайшее время в хлопководческих хозяйствах Голодной степи намечено значительно расширять производственные участки с внутрипочвенным поливом и усовершенствовать его по мере накопления опыта и научных исследований материалов.

Дальнейшие исследования должны идти по пути разработки наилучших схем и экономичных конструкций систем внутрипочвенного полива, методов расчета оптимальных гидравлических параметров поливных труб, создания машин для механизированной укладки и засыпки труб, совмещающих, по возможности, процесс укладки с перфорацией трубок. Крайне важно изучить динамику соленакопления в активном слое почвы там, где существует опасность подъема солей из нижних слоев почвы и из грунтовых вод. Не менее важно изучить эксплуатационную надежность системы, в том числе вопросы заиления и засоления труб; разработать систему незаиляющихся труб, (а если это невозможно, – способы борьбы с этим явлением), а также надежную систему автоматического управления поливом.

LEGOSTAEV V.M., KHAMRAEV N.R., OKULICH-KOZARIN E.L. STUDIES OF SUBSOIL IRRIGATION IN THE GOLODNAYA STEPPE

SUMMARY

The paper suggests the results of studies of subsoil irrigation which were carried out in the state farms of Uzbekistan in 1970-1973.

On experimental plots 4-10 ha in size they placed polyethylene pipes at a depth of 45-50 cm; the pipelines were no more than 200 m long, 16-38 mm in diameter, spaced at 90 and 120 cm. Yields of raw cotton made up 43 metric quintals per ha, while with a dense pattern of sowing these were as high as 50 metric quintals per ha. Efficiency of subsoil irrigation of cotton was determined.

УДК 626.84:633/635

И.И.Суднишин, Н.А.Муромцев,
М.Е.Гинзбург, Е.В. Шеин
(МГУ)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ПОТЕНЦИАЛА ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗА ПОЛИВОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Оптимальный диапазон увлажнения почв можно определить с помощью термодинамического подхода к водному режиму растений, который заключается в выборе единого для всех почв свойства, определяющего доступность воды для растений, а также позволяет создать простое, дешевое и удобное в эксплуатации измерительное устройство.

Энергия взаимодействия воды с твердым телом выражается через величину "потенциала" ("давления") влаги, находящейся в почве или растении. При равновесии между частями системы потенциал влаги во всех этих частях одинаков. При состоянии неравновесия вода должна передвигаться от более высокого к более низкому потенциалу. Поскольку для каждого растения характерен специфический интервал потенциала влаги, близкий к оптимальному, а между потенциалами влаги в почве и растении существует определенная зависимость, то для каждого растения можно выделить и оптимальный диапазон потенциала почвенной влаги, при котором вода передвигается из почвы в растения,возмещая потери на транспирацию.

Полученные в последние десятилетия данные показывают, что для каждого вида растений можно выделить определенный диапазон оптимальных значений потенциала почвенной влаги. В пределах этого диапазона величина транспирации не снижается ниже потенциального уровня, что свидетельствует о достаточной первоначальной увлажненности почвы. Для отработки точных критериев оценки, прогнозирования и регулирования сложных динамических систем - природных и искусственных биогеоценозов необходима исчерпывающая информация о влиянии внешних условий и свойств различных культур на величину оптимального диапазона потенциалов почвенной влаги. Важной самостоятельной задачей является создание предельно простых, дешевых и надежных приборов

и разработка методов непрерывной регистрации потенциала в полевых условиях.

Проведенные за последние годы систематические исследования показали, что величина потенциала почвенной влаги, при которой начинает снижаться относительная транспирация (можно условно назвать ее "критическим потенциалом"), несколько варьирует в зависимости от степени выраженности ксерофитных признаков в морфологическом строении и физиологических свойствах растений (табл.1). Значения "критических потенциалов" ($P_{кр}$) закономерно возрастают при переходе от явных гигрофитов (салат) к мезофитам (овес, капуста и др.) и ксерофитам (житняк). Значения $P_{кр}$ для изученных культур находятся в пределах -3 - -13 ат. "Полный" потенциал почвенной влаги ($P_{кр}$) включает "частные" потенциалы - "капиллярный", "поверхностный" и "осмотический". "Полный" потенциал измерялся при помощи криоскопического и психометрического методов /1, 2/.

Различия в величине $P_{кр}$ для разных видов растений обусловлены главным образом величиной потенциала влаги в листьях, при котором устьица начинают закрываться, а транспирация - снижаться. Так, потенциал влаги в листьях при $P_{кр}$ у салата достигал лишь - 9 ат, тогда как у ксерофитов - 32 ат.

Использование значений $P_{кр}$ в качестве нижнего предела оптимальной увлажненности почв в значительной степени нивелирует различия в водно -физических свойствах почв разного механического состава. Тем не менее полностью элиминировать эти различия невозможно. Они определяются преимущественно различиями во влагопроводности почв при равных потенциалах влаги. Известно, что в более легких по механическому составу почвах влагопроводность при низких значениях потенциала ниже, чем в тяжелых /3,4/. Поэтому при равных значениях потенциала почвенной влаги и влаги в листьях растений подток влаги к корням на легких почвах будет происходить медленнее, что приведет к снижению транспирации. Однако эти различия невелики, обычно они не превышают нескольких атмосфер даже для почв, сильно различающихся по механическому составу (тяжелый суглинок - легкая супесь).

Таблица 1

Значения "критических потенциалов ($P_{кр}$)" в почвах и в листьях различных сельскохозяйственных культур (вегетационные опыты)

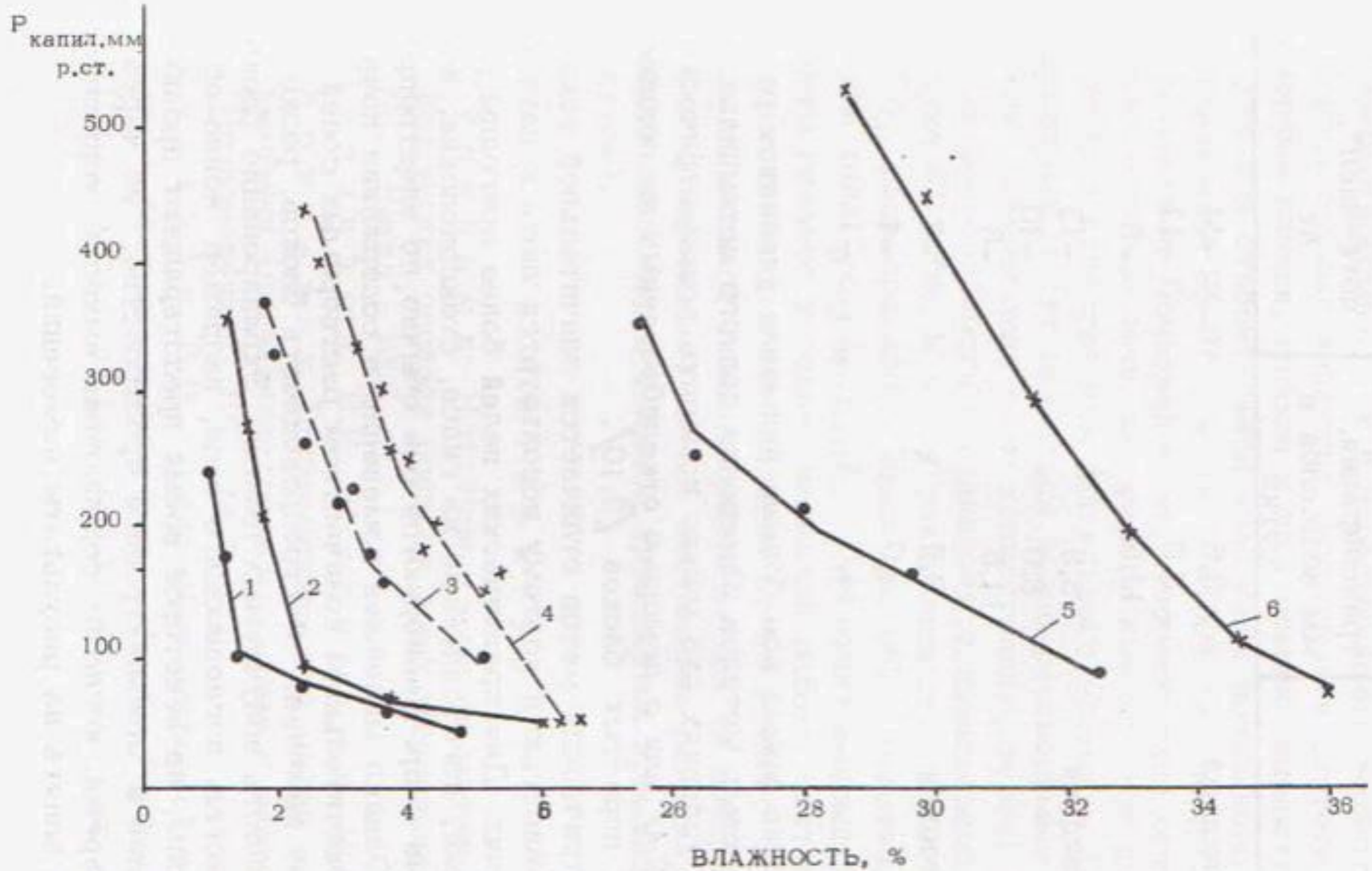
Культура	Почва	$P_{кр}$ в почве, ат	$P_{кр}$ в листьях, ат
Пшеница	Черноземовидная супесь	-7,0	-30,0
Пшеница	Черноземовидный суглинок	-8,0	-31,0
Житняк	Черноземовидный суглинок	-12,0	-32,0
Просо	Черноземовидная супесь	-11,0	-31,0
Просо	Черноземовидный суглинок	-13,0	-32,0
Овес	Черноземовидная супесь	- 7,0	-18,0
Овес	Черноземовидный суглинок	-10,0	-20,0
Салат	Черноземовидная супесь	- 3,0	- 8,5
Салат	Черноземовидный суглинок	- 5,0	-10,0
Шавель	Дерново-степная песчаная	- 1,5	- 3,5
Картофель	Черноземовидная супесь	- 4,0	-14,0
Картофель	Черноземовидный суглинок	- 5,0	-16,0
Капуста	Черноземовидная супесь	- 3,5	- 9,0
Капуста	Черноземовидный суглинок	- 4,0	-11,0
Томаты	Дерново-степная песчаная	- 4,0	не опр.
Томаты	Черноземовидная супесь	- 4,5	-12,0
Томаты	Черноземовидный суглинок	- 4,5	-14,0
Конские бобы	Черноземовидная супесь	- 4,0	-11,0
Фасоль	Черноземовидный суглинок	-13,0	не опр.
Фасоль	Черноземовидная супесь	-11,0	не опр.
Фасоль	Дерново-степная песчаная	- 5,0	не опр.

Значительное воздействие на $P_{кр}$ оказывают метеорологические условия. Приведенные в табл.1 данные характерны

для летнего периода степной зоны СССР (испаряемость 3-5 мм/сутки). При более высокой или более низкой испаряемости (потенциальной транспирации) отмечаются, соответственно, более высокие или низкие значения $P_{кр}$ [5,6,7]. Опыты, проведенные в камере искусственного климата, показали, что для фасоли различия между значениями $P_{кр}$ при уровнях потенциальной транспирации 11,5 и 3,5 мм водн.слоя в сутки достигают 4-8 ат (табл.2). Таким образом, проблема выбора нижнего предела оптимальной увлажненности почв, при достижении которой необходимо производить полив, существенно облегчается, если вместо влажности почвы использовать значения "критического потенциала", так как его величина сравнительно мало зависит от физических и химических свойств почвы.

Для широкого внедрения этого способа в практику необходимо разработать методы измерения потенциала в полевых условиях, которые позволили бы предельно упростить и удешевить, а в будущем и автоматизировать сбор и обработку информации о водном режиме почв и производство поливов. Несколько таких методов уже применяется, правда, пока еще не очень широко. Некоторые из них предназначены для измерения полного потенциала влаги (капиллярного + поверхностно-адсорбционного + осмотического), другие - лишь для капиллярного (тензиометры).

Тензиометры уже давно используются в ирригационной практике [8]. Они хорошо регистрируют момент достижения "критического капиллярного потенциала", однако необходимость периодически удалять диффундирующий в устройство воздух и трудности обеспечения герметичности усложняют его эксплуатацию. Кроме того, тензиометры не реагируют на осмотическую составляющую потенциала и показывают "оптимум" даже в тех случаях, когда почвенная влага недоступна растениям из-за высокой засоленности почв. Существенно влияет на показания тензиометра и уровень потенциальной транспирации. В тех случаях, когда он высок, скорость иссушения почвы превышает скорость оттока воды из тензиометра, из-за чего запаздывает его реакция на изменение потенциала почвенной влаги. Это приводит к существенному завышению показаний прибора (см.рисунок).



Зависимость капиллярного потенциала почвенной влаги (по показаниям тензиометров) от влажности дерново-степной песчаной (1,2), черноземовидной супесчаной (3,4) и черноземовидной суглинистой (5,6) почв при различных уровнях потенциальной транспирации: 11,5 мм водн.слоя в сутки (1,3,5) и 3,5 мм водн.слоя в сутки (2,4,6)

Таблица 2

Влияние уровня потенциальной транспирации (T_o) на величину "критического потенциала" почвенной влаги ($P_{кр}$) для фасоли (вегетационный опыт)

Почва	Потенциальная транспирация, мм водн.слоя в сутки	"Критический потенциал", ат
Черноземовидный суглинок	3,5	-14
	8,0	-11
	11,5	-8
Черноземовидная супесь	3,5	-13
	8,0	-10
	11,5	-6
Дерново-степная песчаная	3,5	-7
	8,0	-4
	11,5	-1

В последнее время все больше внимания уделяется разработке полевых методов измерения полного потенциала. В полевых условиях его можно измерить психометрическим методом [9,4] или с помощью откалиброванных по полному потенциалу пористых блоков [9,10].

Психометрический метод отличается значительной технической сложностью и поэтому используется лишь в научных исследованиях. Для практических целей более пригодны пористые блоки, изготовленные из гипса, стекловолокна, нейлона, бетона и др. Калибруются они обычно по электропроводности. Однако малейшее изменение в содержании почв даже с незначительным количеством растворимых солей существенно изменяет электропроводность блоков, резко снижая точность получаемых данных. Экранирование блоков слоем вещества, поглощающего соли, например ионно-обменной смолы, на некоторое время предотвращают проникновение солей в межэлектродное пространство, но через некоторое время, когда их сорбционная емкость заполнится, соли будут влиять на результаты измерений.

Электрическая емкость блоков не столь сильно зависит от содержания солей, но измерение емкости само по себе является сложной задачей.

Для предотвращения влияния солей следует привести пористые сорбенты в состояние равновесия с почвенной влагой через воздушную прослойку. Этот принцип реализуется в гигроскопических датчиках, в которых используются как водно-растворимые, так и нерастворимые вещества.

Нерастворимые вещества (животные и синтетические полимерные пленки, волосы и др.) обычно полностью набухают уже при относительной влажности почвенного воздуха, составляющей 95-97%, а при 97-100% уже не реагируют на ее изменения. Почвоведов же, занимающихся оптимальной увлажненностью почв, интересует именно этот диапазон. Поэтому в качестве чувствительного элемента более перспективными могут оказаться водно-растворимые соли, существенно изменяющие свою концентрацию, степень ионизации и электропроводность в диапазоне относительной влажности воздуха 97-100%. К числу таких веществ относится, например K_2SO_4, растворяющийся лишь при 98%. Представляет интерес состав типа "gray hydrogel", запатентованный в США /11/. Однако главное условие надежной работы датчиков - обеспечение надежной изоляции от почвенного раствора при минимальной толщине разделяющей их воздушной прослойки (в противном случае достижение равновесия произойдет лишь через большой промежуток времени- более 10 суток).

Литература

1. Судницын И.И. Новые методы оценки водно-физических свойств почвы и влагообеспеченности леса. М., "Наука", 1966.
2. Судницын И.И., Муромцев Н.А., Чан Конг-тау. Психометрический метод определения давления (потенциала) влаги в почве и растениях. - "Почвоведение", 1971, № 4.
3. Гарднер В.Р. Соотношение почвенной воды в сухих и засушливых условиях. - В сб.: "Растение и вода". Пер. с англ. Под ред. Г.Ф.Хильми, Л., Гидрометеоиздат, 1967.

4. С у д н и ц ы я И.И. Давление влаги и влагопроводность почв. - "Метеорология и гидрология", 1971, № 9.
5. D e n m e a d O.O.T., S h a w R.H. Availabillity of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions, Agron. J., v.54, 385-390, 1962.
6. Б у д а г о в с к и й А.И. Испарение почвенной влаги. М., Изд-во АН СССР, 1964.
7. Н е р п и н С.В., М и ч у р и н Б.Н., С а н о я н М.Г. Зависимость водопотребления растений от физических факторов среды. - В сб.: "Исследование процессов обмена энергии и вещества в системе почва-растение-воздух". Л., "Наука", 1972.
8. T a y l o r S.A. Physical edaphology, San Francisco, 1972.
9. Г л о б у с А.М. Экспериментальная гидрофизика почв. Л., Гидрометеоиздат, 1969.
10. С у д н и ц ы я И.И. К вопросу о применении тензометрических и электрометрических методов измерения влажности почв. - "Почвоведение", 1959, № 12.
11. B o u y o u c o s G.J., C o o k R.L. Construction, operation and accuracy of the gray hydrocal sensor, Soil sci., 1969, v.108, N1, 309-312.

SUDNITSYN I.I., MUROMTSEV N.A., GINZBURG M.E., SHEIN E.V. APPLICATION OF SOIL MOISTURE POTENTIAL METERS TO CONTROL CROP IRRIGATION

SUMMARY

The paper recommends to determine the optimal range of soil moistening on the basis of thermodynamics, using pressure potential values at different points of plants and soil. The term "critical potential" is suggested which corresponds to soil moisture potential when reduction of relative transpiration is started. The paper suggests the values of "critical potential" for different soils and crop leaves, as well as the data on the effect of potential transpiration on these values. Recommendations are given on the development and use of instruments and transmitters to determine "critical potential".

УДК 626.84:628.133.5

Докт.с.-х.наук О.Г.Грамматикати,
докт.с.-х.наук В.А.Емельянов,
К.К.Омаров, Д.У.Рамазанов,
З.А.Шугаибов
(ВНИИГиМ)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОРСКОЙ ВОДЫ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ

Более половины общего количества потребляемой ежегодно в СССР пресной воды идет на нужды сельского хозяйства, главным образом, на орошение. Ниже приведено ежегодное потребление воды (млрд.м^3) по отраслям народного хозяйства.

Сельское хозяйство	125,0
в том числе орошаемое земледелие	117,0
Рыбное хозяйство	17,8
Промышленность	42,6
Коммунальное хозяйство	8,4
Прочие	29,4
Итого	223,2

Потребность в оросительной воде возрастает и, как показывают расчеты, в дальнейшем возникнет необходимость в переброске в южные районы страны (Средняя Азия, Закавказье, Северный Кавказ, Украина и Заволжье) части стока северных и сибирских рек. Большое значение приобретает поиск новых источников оросительной воды.

В связи с этим ученые обратили внимание на морскую воду, которая представляет собой хорошо сбалансированную ионную систему, и кроме того, содержит полезные для растений элементы. Опасность воздействия вредных для растений солей $NaCl$, содержащихся в морской воде в большом количестве, ограничивается наличием других солей. Чтобы убедиться в этом, в почвенно-мелиоративной лаборатории ВНИИГиМ был поставлен следующий опыт. Растения подсолнечника выращивались в цилиндрах, наполненных черноземной почвой. В одном из вариантов опыта полив осуществляли водой, взятой из Черного моря и содержащей 13 г/л $NaCl$, в другом - раствором 13 г $NaCl$ в литре

водопроводной воды. В то время как растения, поливаемые раствором $NaCl$ погибли, растения в варианте с поливом морской водой продолжали расти и развиваться.

Использование морской воды для орошения не столько опасно для самих растений, сколько для почвы, т.к. содержание солей в ней резко возрастает. Поэтому орошение сельскохозяйственных культур морской водой рекомендуют осуществлять на песчаных почвах. Благодаря высокой водопроницаемости песков, поступившая в них вода легко просачивается из верхних слоев в более глубокие, что исключает опасную для растений аккумуляцию солей в корнеобитаемой зоне.

В Советском Союзе для орошения может быть использована вода Аральского, Каспийского, Черного, Азовского и Балтийского морей. В табл.1 приведен сравнительный ионный состав вод океана, Черного, Азовского, Каспийского и Аральского морей по средним данным для открытого моря. Из таблицы видно, что наименее минерализована вода Аральского моря. Среднее содержание солей здесь составляет 7,8 г/кг. Вода Каспийского и Азовского морей близка по средним показателям солености (в Азовском море содержится в среднем 12,4, а в Каспийском - 12,8 г/кг), однако содержание солей в этих морях значительно выше, чем в Аральском. Наиболее минерализована вода Черного моря - содержание солей в ней достигает 18,6 г/кг. Однако концентрация солей в Черном море значительно ниже океанической 34,4 г/кг.

В морской воде из анионов преобладает Cl^{-}, из катионов - Na^{+}. Для морской воды характерно следующее соотношение анионов и катионов:

$$Cl^{-} + Br^{-} > SO_4^{2-} > HCO_3^{-}$$

$$Na^{+} + K^{+} > Mg^{2+} > Ca^{2+}$$

, в то время как в речных водах в соотношении ионов наблюдается обратная зависимость:

$$HCO_3^{-} > SO_4^{2-} > Cl^{-}$$

$$Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^{+} + K^{+}$$

Таблица 1

Ионы	Ионный состав вод, г/кг			
	Океан	Азовское море	Каспийскоре море	Аральское море
$Na^{\cdot}$	10,56	3,755	3,156	1,946
$K^{\cdot}$	0,38	0,140	0,100	0,097
$Ca^{\cdot\cdot}$	0,41	0,180	0,334	0,413
$Mg^{\cdot\cdot}$	1,27	0,460	0,740	0,459
$Cl^{\prime}$	18,98	6,729	5,347	3,009
$Br^{\prime}$	0,06	0,024	0,007	0,0013
$SO_4^{\prime\prime}$	2,65	0,996	3,038	2,690
$CO_3^{\prime\prime}$	0,14	0,179	0,100	0,172
Сумма катионов и анионов	34,45	12,436	12,816	7,814

В Азовском и Черном морях водообмен с океаном затруднен, вследствие чего постоянство состава солей, характерное для океана, здесь нарушается.

В морской воде содержатся микроэлементы, органические вещества и биогенные элементы, в основном органический азот и растворенный кремний. В морской воде растворены газы: кислород, углекислота, азот, сероводород, метен и др. В табл.2 приведено содержание биогенных элементов в морской воде.

Таблица 2

Элемент	Содержание биогенных элементов, тыс.т	
	Северная часть Каспийского моря	Азовское море
Фосфор растворенный:		
минеральный	6,7	2,8
органический	4,2	7,7
суммарный	10,9	10,5
Азот минеральный /аммиачный и нитратный/	35,0	25,6
органический	350,0	158,7
суммарный	385,0	184,3
Кремний растворенный	700,0	205,0

Биомасса морей состоит из фитопланктона, бактерий, зоопланктона, зообентоса и фитобентоса. О содержании биомассы в воде Каспийского, Азовского и Черного морей можно судить по данным, приведенным в табл.3.

Таблица 3

Компонент	Вес компонентов биомассы морей (сырой/сухой), тыс.т		
	Каспийское	Азовское	Черное
Фитопланктон	6500/650	1000/100	3600/360
Бактерии	1000/320	200/ 20	11000/2200
Зоопланктон	5000/500	65/ 13	11000/1100
Зообентос	30000/4500	12000/1800	15000/2250
Фитобентос	3000/375	- -	20000/2400

Соленостью воды называют количество растворенных в ней твердых минеральных веществ (солей), выраженное в граммах на килограмм морской воды. Соленость воды выражают в тысячных долях килограмма (промилле) и обозначают значком ‰. Средняя соленость мирового океана 35 промилле (35‰).

По мере усиления влияния речного стока соленость воды в морях понижается, а вблизи устьев рек вода опресняется. Соленость воды изменяется также в вертикальном направлении. Так, например, соленость поверхностных вод Черного моря составляет 17–18‰, глубинных – 22,4–22,6‰. Максимальная соленость воды в открытой части Азовского моря составляет 13–14‰, с приближением к берегам содержание солей в воде уменьшается, поэтому в Таганрогском заливе вода почти пресная.

В Балтийском море наблюдаются резкие колебания солености от 3 до 20‰. Соленость воды в Финском заливе понижается до 2–6‰.

Вода Аральского моря даже вдали от устья рек имеет соленость не выше 10–11‰, в устье рек наблюдается значительное опреснение воды.

В табл.4 приведен средний ионный состав воды Среднего и Южного Каспия. Соленость в Каспийском море резко колеблется. Северная часть моря характеризуется низкой соленостью 5–10‰, а вблизи устья Волги менее 1‰, однако в южной части моря соленость повышается до 12,0–14,0‰.

Температура верхнего слоя воды у побережья Черного моря достигает летом 27–29°. Вода в Каспийском и Аральском морях нагревается в летний период до 27–30°. Для Балтийского моря характерна более низкая температура (в июне 16 – 17°).

Таблица 4

Ионы	Средний ионный состав			
	Средний Каспий		Южный Каспий	
	г/кг	%	г/кг	%
$Na^{\cdot}$	3,191	24,820	3,121	24,430
$K^{\cdot}$	0,084	0,650	0,113	0,880
$Ca^{\cdot\cdot}$	0,346	2,690	0,322	2,520
$Mg^{\cdot\cdot}$	0,736	5,820	0,744	5,820
Cl'	5,366	41,730	5,324	41,720
Br'	0,007	0,054	0,007	0,054
SO_4''	3,020	23,400	3,056	23,930
CO_3''	0,108	0,840	0,083	0,650
Сумма ионов	12,858	100	12,773	100

Вдоль берегов Каспийского и Аральского морей простираются бесплодные песчаные и пустынно-степные супесчаные почвы. Для использования этих земель в сельском хозяйстве необходимо оросить их водой Каспийского и Аральского морей. Морская вода может быть также использована для промывки засоленных почв.

Под руководством акад. И.С.Рабочева в юго-западной части Туркмении проводятся опыты по использованию вод Каспийского моря для промывки засоленных почв. Промывка осуществляется неразбавленной водой Каспийского моря. Почвы прикаспийской аккумулятивной террасы представляют собой супесчаные отложения мощностью 3 м с прослойками тяжелых суглинков толщиной до 15 см. Почвогрунты сильно засолены (плотный остаток – 2,5–3,5%, Cl – 0,6–1,4%). В табл.5 приведены результаты опыта.

Промывка морской водой позволила снизить процентное содержание солей в слое 0–60 см с 3,76 до 1,18, а в слое 0–100 с 3,65 до 1,46. Содержание хлора после промывки уменьшилось в слое почвы 0–100 см более чем в четыре раза.

Таблица 5

Глубина слоя, см	Плотный остаток, %		Содержание хлора, %	
	до промывки	после промывки	до промывки	после промывки
0–10	2,68	1,22	0,90	0,13
10–20	3,71	1,57	1,23	0,17
20–30	4,27	0,65	1,79	0,20
30–40	3,53	0,52	1,10	0,14
40–50	3,79	1,08	1,32	0,19
50–60	4,57	1,97	1,58	0,28
60–70	3,87	2,28	1,51	0,47
70–80	3,98	2,28	1,69	0,39
80–90	3,23	1,64	1,37	0,28
90–100	2,86	1,40	0,90	0,90
0–60	3,76	1,18	1,32	0,185
0–100	3,65	1,46	1,34	0,315

Дальнейшее опреснение почв достигалось за счет поливов разведенными морскими и грунтовыми водами. Опыты показали целесообразность промывки засоленных супесчаных почв водой из Каспийского моря.

В процессе опытов также установлено, что всходы ячменя удовлетворительно переносят затопление морской водой.

Решая задачу использования для орошения морской воды нельзя ограничиться освоением только песчаных почв. Вдоль берегов Каспийского моря пустуют светло-каштановые среднесуглинистые почвы, продуктивность которых также необходимо поднять. Успех орошения морской водой на таких почвах зависит от наличия естественного или искусственного дренажа, предотвращающего накопление солей в почве, а также от возможности периодической промывки почв от солей естественными осадками в холодный период года. В условиях Дагестана, например, за холодный период года (с октября по март) выпадает около 200 мм осадков, такое количество может оказаться достаточным для промывки верхних слоев почвы от солей, накопившихся в результате орошения морской водой.

В связи с этим, Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации проводил в Дагестане опыты по орошению сельскохозяйственных культур морской водой не только на песчаных, но и на среднесуглинистых светло-каштановых почвах, подстилаемых песками. Почвообразование на данной территории основано на морских отложениях с четко выраженной слоистостью. Материнские породы - суглинки морского происхождения, часто подстилаемые мощными галечниками и песками. Растительность на освоенных массивах представлена солянково-полынной ассоциацией.

Почва опытного участка светло-каштановая, среднесуглинистая с поверхности. С глубины 45-50 см начинается подстилающая порода, горизонт С. Этот горизонт песчаный, однако в нем встречаются более плотные и тяжелые по механическому составу слои. В соответствии с расположением различных по механическому составу слоев изменяется величина объемного веса почвы (1,42-1,77 г/см^3).

Почвы опытного участка можно отнести к незасоленным или слабозасоленным. Величина плотного остатка не превышает 0,2%. Распределение солей по почвенному профилю неравномерно, что, по-видимому, связано с изменением механического состава. Преобладающим в почве следует считать сульфат-ион, содержание которого, особенно в поверхностных горизонтах, превышает содержание других ионов. Содержание иона Cl' в верхнем слое почвенного профиля (0-40 см) не превышает допустимого содержания этого иона в почве. Однако в слое 40-90 см содержание Cl' возрастает до 0,02-0,03%. В более глубоких слоях количество хлора в почве снижается. Количество Na в почве невелико и, что особенно важно, не превышает количества $Ca^{\cdot\cdot}$. Следовательно, почвы опытного участка можно считать пригодными для сельскохозяйственного использования.

Район проведения опытов относится к типичной полупустыне, где испаряемость в два раза превышает годовое количество осадков 430 мм/год; среднегодовая температура воздуха +11,6^{o}С.

Первые опыты по орошению сельскохозяйственных культур морской водой на средних суглинках проводились в 1972 году. Был взят небольшой участок посева люцерны третьего года жизни. Морскую воду подвозили в цистернах

и подавали на делянки с помощью шланга. В течение вегетационного периода было проведено шесть поливов (оросительная норма 4430 м^3/га). Полученный на опытных делянках урожай сена люцерны составил в пересчете на гектар 130 ц/га. Такой урожай был получен на этих землях впервые. В 1972 г. при поливе морской водой удалось получить спелые плоды томатов и арбузов.

Анализ почвенных образцов, взятый осенью 1972 г. с участка, орошаемого морской водой, показал, что содержание солей в почве по сравнению с исходным значительно возросло, однако весной часть солей оказалась вымытой естественными осадками, а содержание наиболее опасного для растений иона Cl' в слое почвы 0–50 см было в пределах допустимого.

В 1973 г. растения люцерны на этом участке нормально росли и развивались и при поливе морской водой (оросительная норма 4000 м^3/га) урожай сена составил 100 ц/га.

В условиях опыта осенняя влагозарядка почвы морской водой нормой 1000 м^3/га обеспечила получение урожая озимой пшеницы Безостая 1 около 20 ц (в пересчете на га), в то время как на неорошаемом участке урожай не был получен. Применение влагозарядки морской водой нормой 1000 м^3/га и двух вегетационных поливов по 1000 м^3/га позволило получить около 40 ц/га зерна озимой пшеницы. Следует отметить, что полив проводился неразбавленной морской водой.

В Дагестане вдоль берегов Каспийского моря строятся дома отдыха, санатории и пионерские лагеря. Использование морской воды позволит озеленить ранее пустынные песчаные берега Каспийского моря. В табл.6 приведены данные приживаемости древесных пород при поливе морской водой. За время вегетации декоративных пород проведено 6 поливов оросительной нормой около 3000 м^3/га. Вода подавалась из Каспийского моря с помощью насоса и распределялась в лесополосе поверхностным способом.

Несмотря на то, что еще многие вопросы орошения морской водой остаются нерешенными (режим орошения, способы полива, подбор культур, устройство дренажа и др.) возможность орошения сельскохозяйственных культур водой из Каспийского моря доказана.

Таблица 6

Древесные породы	Количество высаженных деревьев и кустарников	Из них прижилось и дало интенсивный прирост
Тамариск	60	54
Ясень обыкновенный	100	70
Акация белая	100	65
Ива плакучая	100	60

Использование морской воды для орошения позволит ввести в сельскохозяйственный оборот пустынные и мало продуктивные земли и сыграет большую роль в озеленении многих приморских городов Советского Союза.

Литература

1. Блинов Л.К. Физико-химические свойства вод Каспийского моря и их сравнительная характеристика.- Труды Гос.океанограф. института, вып.68, 1962.
2. Дацко В.Г. Органическое вещество в водах Южных морей СССР. М., Изд-во АН СССР, 1959.
3. Истошин Ю.В. Океанология, Л., Гидрометеоиздат, 1969.
4. Кравчук В.Н. Опыт применения минерализованных вод Каспийского моря на промывку солончаков юго-западной Туркмении и выращивание лесонасаждений. Тр. 2-ой Всесоюзной конференции по проблеме пустынь. Ашхабад. Изд-во "Ылым", 1971.
5. Рабочев И.С. Влияние минерализованных вод на солевой режим почв и урожай сельскохозяйственных культур. АН Туркменской ССР, ин-т Пустынь, Ашхабад, Изд-во "Ылым", 1973.

GRAMMATIKATI O.G., EMELYANOV V.A., OMAROV K.K.
RAMAZANOV D.U., SHUGAIBOV Z.A. USE OF
SEA WATER FOR IRRIGATION

SUMMARY

The article presents information on the ion composition of water and the content of biogenous elements and biomass in the southern seas of the USSR.

Results of the first experiments on using the Caspian sea water for irrigation are discribed. When irrigated by sea water, medium loam chestnut soil in Daghestan yielded 100-130 metric quintals per hectar of alfalfa hay. Off-season irrigation at a rate of 1000 m^3/ha and two vegetative water applications at a rate of 1000 m^3/ha allowed for obtaining about 40 metric quintals of winter wheat grain per hectar.

Irrigation of decorative tree plantations grown on sand by the Caspian sea water gave favourable results.

УДК 626.83

Канд.техн.наук А.И.Жангарин
(КазНИИВХ)

НАСОСНЫЕ УСТАНОВКИ С ГИДРОЦИКЛОННОЙ ПРИЕМНОЙ КАМЕРОЙ

Развитие механизации полива орошаемых земель широкозахватными дождевальными машинами "Фрегат" и "Волжанка", а также внедрение импульсного дождевания предъявляют новые требования к насосным установкам и условиям забора воды из источников орошения. Основными из них являются:

обеспечение непрерывного процесса забора воды и осаждения наносов в движении;

непрерывный или периодический промыв наносов с затратой на это незначительного количества промывной воды с попутным сгущением пульпы и ее укладкой в отвал;

защита рабочих органов насоса от абразивного истирания и удлинение срока их службы;

использование насосов для очистки каналов, отстойников, дренажных систем и т.д.

Кроме того, насосы и наносоулавливающие устройства к ним должны быть компактны, иметь малые габариты и небольшой вес, обладать гибкостью и удобством в эксплуатации.

Существующие в настоящее время способы улавливания наносов (фильтрование и осаждение под действием силы тяжести путем устройства отстойников) для насосных установок, работающих позиционно и в движении, оказались технически трудно осуществимы и экономически невыгодны.

Это объясняется малой производительностью фильтров и большими размерами отстойников, с одной стороны, и невозможностью их размещения на движущихся агрегатах – с другой. В связи с этим необходима разработка более эффективной поливной техники, отвечающей современным требованиям, а также способов борьбы с наносами и конструкций насосных установок.

Наиболее прогрессивным из существующих способов борьбы с наносами является способ, основанный на использовании энергии и эффекта самой движущейся жидкости. Эффективным видом движения жидкости является циклонное.

Оно широко используется при проектировании воздушных и гидравлических циклонов, устанавливаемых, в основном, на нагнетательных линиях вентиляторных и насосных установок. x)

Гидроциклон представляет собой цилиндро-конический сосуд (рис. Г-1; 2), снабженный тангенциально подведенным к его корпусу входным патрубком и двумя разгрузочными патрубками, расположенными соосно. Эти аппараты отличаются простотой конструкции, высокой эффективностью и гибкостью в управлении. Они широко применяются в промышленности и используются для классификации, сгущения и обезвоживания пульпы. Гидроциклоны используются также в буровом деле для разделения фракции твердой фазы буровых растворов.

В технологических схемах обработки пульпы гидроциклоны, как правило, размещаются на нагнетательной линии насосов, что приводит к резкому увеличению потерь напора, а работа установок по такой схеме - к истиранию рабочего колеса насоса абразивными частицами. Как известно, поливные машины и импульсные аппараты требуют сохранения рабочего напора, поэтому размещение на нагнетательном патрубке какого-либо сопротивления, в том числе и гидроциклонного насосоулавливающего аппарата, невыгодно. В связи с этим потребовалась разработка нового гидравлического способа борьбы с наносами и переноса месторасположения наносоулавливающего устройства на линию всасывания (в пределах допустимой высоты всасывания). Была создана принципиально новая гидравлическая схема всасывания двухфазной жидкости и разработаны более эффективные конструкции насосных установок с гидроциклонной приемной камерой [1,2,3].

Гидроциклонный способ борьбы с наносами и насосные установки с гидроциклонной приемной камерой (Г.Ц.У.) отличаются простотой конструкции, высокой эффективностью, потребляют незначительное количество воды для промыва наносов и могут быть применены не только для улавливания наносов и подачи осветленной оросительной воды, но и для очистки отстойников и открытых дренажных систем от наносов с укладкой в отвал сгущенной пульпы.

---

x) Авт.свид. № 285500, авт.свид. № 309157.

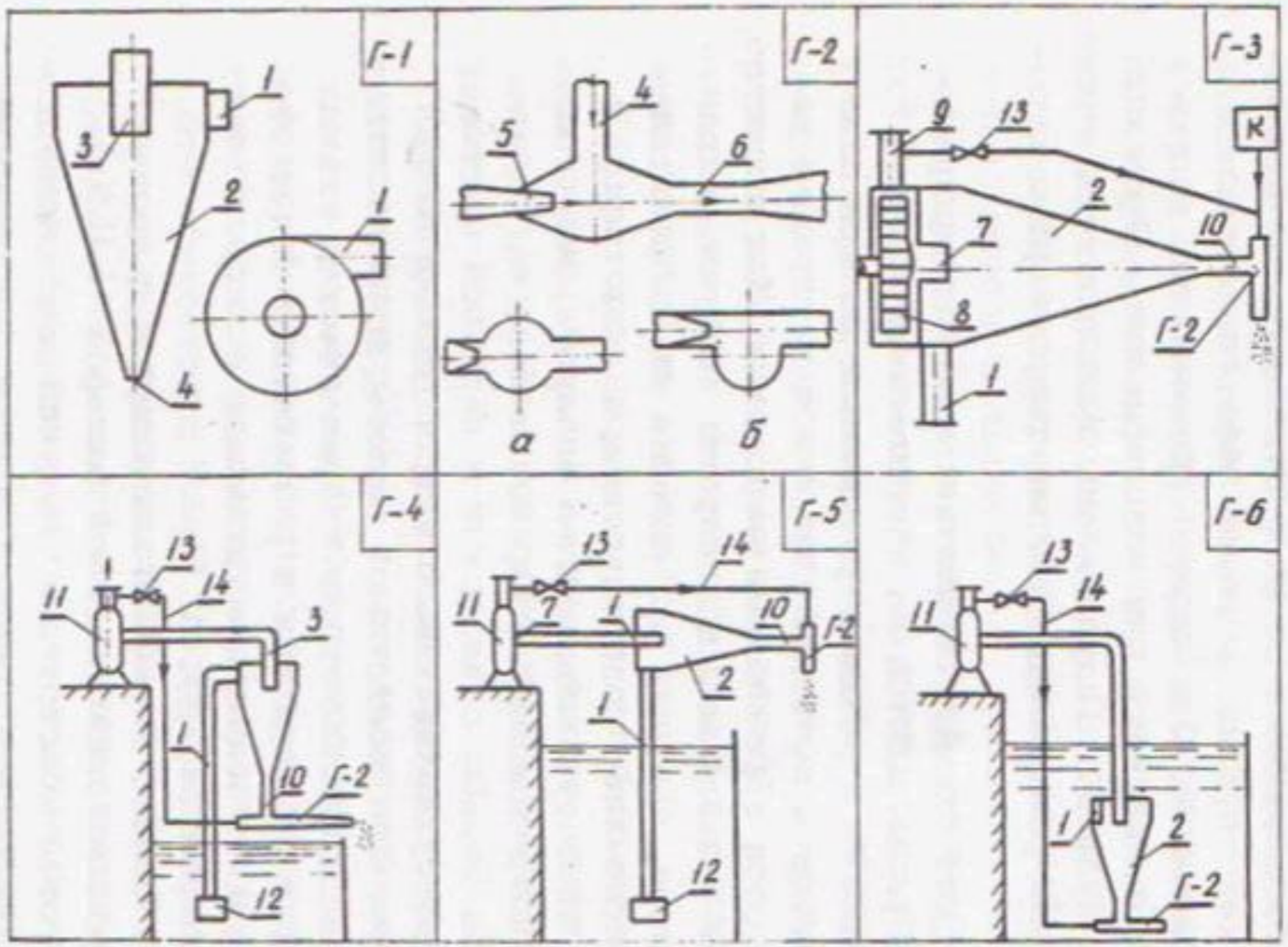


Рис.1. Насосные установки с гидроциклонной приемной камерой: Г-1 – гидроциклон; Г-2 – гидроэлеватор (а – прямоточный, б – вихревой); Г-3 – гидроциклонная насосная установка; Г-4, Г-5, Г-6 – различные варианты размещения гидроциклонов на всасывающей линии насосов; 1 – входной патрубок циклона; 2 – циклонная камера; 3 – слив; 4 – песковое отверстие; 5 – рабочее сопло; 6 – камера смешения; 7 – всасывающий патрубок насоса; 8 – рабочее колесо насоса; 9 – нагнетательный патрубок насоса; 10 – камера сгущения; 11 – насос; 12 – обратный клапан; 13 – вентиль; 14 – водоподводящая труба

Насосные установки с гидроциклонной приемной камерой, в зависимости от назначения, могут быть стационарными, передвижными (размещаемыми на движущихся агрегатах) и плавучими.

При продувке оседаемых в гидроциклонной приемной камере наносов воздушной струей (см.рис.1,Г-1) объемный вес пульпы может быть доведен до

$$\gamma_п \rightarrow (\gamma_т + \varepsilon \gamma_в),$$

где $\gamma_т$ – объемный вес твердой фазы;
$\gamma_в$ – объемный вес воды;
ε – пористость.

Насосная установка с гидроциклонной приемной камерой (см.рис.1,Г-3) состоит из центробежного насоса, гидроциклонной камеры, камеры сгущения и гидроэлеватора.

Всасывающий патрубок насоса совмещен со сливным патрубком гидроциклона и расположен внутри камеры. Гидроэлеватор, служащий для эжектирования наносов, оседаемых при вершине конуса, встроен в "устье" конуса камеры и соединен при помощи водоподводящей трубы с нагнетательным патрубком насоса.

При необходимости гидроэлеватор может быть заменен воздушным эжектором, соединенным с источником сжатого воздуха высокого давления.

Перед пуском насоса в работу всасывающую трубу циклонной камеры опускают в воду и заливают установку. Всасываемая двухфазная жидкость, попав через тангенциально расположенный входной патрубок в циклонную камеру приобретает сильное вращательное движение в силу неравенства нулю момента количества входящей массы жидкости относительно оси $\int \vec{r} \times \vec{v} d\tau \neq 0$, где $d\tau$ – элементарный объем.

Как показывают наблюдения за движением жидкости в прозрачной модели установки, в циклонной камере образуется как бы два объемлющих друг друга и вращающихся в одну и ту же сторону потока: наружный, влекущий с собой отброшенные под действием центробежных сил твердые частицы, и внутренний, по которому движется основная масса очищенной от наносов жидкости. Вдоль оси камеры образуется зона более глубокого разрежения, напоминающая воздушный "столб" в напорном гидроциклоне.

Визуальное наблюдение показывает, что размеры "столба" зависят от консистенции исходной пульпы, диаметра пескового отверстия и высоты песчаного завала, создаваемого при вершине конуса для эжектирования пульпы более высокой консистенции. Необходимо отметить, что песчаный завал следует создавать только в том случае, если этого требует технологическая схема работы насоса, например, при использовании установки в качестве устройства для очистки каналов с укладкой сгущенной пульпы в отвал. В противном случае песчаный завал, занимая определенную часть объема камеры, способствует выносу твердых частиц через слив.

Рабочей средой для отсасывания осадка из пескового отверстия камеры в зависимости от технологической схемы применения может быть вода, подаваемая из нагнетательной линии самой установки специальным высоконапорным насосом, или сжатый воздух, подводимый из источника высокого давления.

В зависимоти от назначения Г.Ц.У. конструкция, состав, количество и расположение осей циклонных камер могут быть различны.

Результаты испытания показали, что расположение камер, вертикальное или горизонтальное, не вносит существенных изменений в общую картину движения наносов и не влияет на эффективность очистки. В некоторых случаях компоновка Г.Ц.У. с горизонтальным расположением циклонных камер более отвечает требованиям технической эстетики.

Нормальную работу Г.Ц.У. обусловливают геометрические и гидравлические характеристики циклонной камеры и струйного аппарата, а также гранулометрический состав и консистенция исходной пульпы, которые должны быть увязаны с техническими характеристиками базового насоса. Поэтому при определении основных параметров циклонной камеры и струйного аппарата прежде всего учитывается, что диаметр сливного патрубка камеры $d_{сл}$ равен диаметру входного патрубка насоса $d_{вс}$.

Исходя из этого, основные параметры циклонной камеры и струйного аппарата могут быть приняты следующими:

диаметр входного патрубка циклона – $d_{вх} = d_{сл}$;

диаметр циклона – $D_ц = (4 \div 5) d_{сл}$;

общая высота циклона – $T = (2 \div 25) D_ц$;

цилиндрическая часть циклона – $T_ц = (1 \div 2) d_{сл}$;
диаметр пескового отверстия – $d_{пес.} = (0,1 \div 0,25) d_{вх}$;
угол конусности циклона – $\beta = 25 \div 40°$;
диаметр рабочего сопла струйного аппарата – $d_0 = (0,4 \div 0,5) d_{пес}$;
диаметр камеры смешения струйного аппарата – $d_{к.с} = d_{пес}$;
длина камеры смешения – $l_{к.с} = (8 \div 1,2) d_{к.с}$;
угол расхождения камеры смешения – $\alpha = 6 \div 11°$.

Кроме того, при назначении диаметров пескового отверстия и камеры смешения, необходимо учитывать то обстоятельство, что размер поперечного сечения пескового отверстия должен обеспечить выход одновременно нескольких фракций наибольшей крупности, поэтому его диаметр должен отвечать также условию:

$$d_{пес} \geq (4 \div 8) \delta_0 ,$$

где δ_0 – наибольший диаметр фракции.

Циклонная приемная камера в зависимости от назначения, места установки и схемы компоновки может иметь несколько входных патрубков, расположенных по периметру в ее цилиндрической части (см.рис. Г-6). Входные патрубки в этом случае рекомендуется выполнять прямоугольного сечения, принимая следующие соотношения параметров:

$$h = (3 \div 4) b ;$$

$$h = H_к = (1 \div 2) d_{вх} ,$$

где h – высота щели,
b – ширина щели.

Тогда из условия равенства площадей сливного и входного патрубков ($d_{сл} = d_{вх}$) имеем:

$$bh = 0,8 d_{вх}^2 \quad или$$

$$b = (0,8 \div 0,4) d_{вх}$$

В подводных гидроциклонах (см.рис. Г-6), располагаемых на оголовке всасывающего трубопровода, для упрощения конструкции и увеличения производительности сливной патрубок может быть образован размещением внутри

цилиндрической части камеры кольцевой струенаправляющей полки, обеспечивающей отклонение осветленной части жидкости в сторону насоса. Ширина полки может быть принята:

$$b_п = (1,5 \div 2,5) b .$$

Одним из основных элементов, обеспечивающих нормальную работу Г.Ц.У., является гидроэлеватор, встраиваемый в "устье" конуса. Разработаны две конструкции гидроэлеватора: прямоточный и вихревой (см.рис. Г-2).

Проямоточный гидроэлеватор рекомендуется применять в том случае, когда перед песковым отверстием циклона, исходя из технологической схемы производства работ, возникает необходимость в создании песчаной "подушки", а вихревой - в случае, когда перед песковым отверстием нет скопления наносов, и вытекающая струя жидкости, не изменяя направления своего вращения, транзитом выносится из камеры. Из опытов видно, что при одинаковых условиях всасывающий расход вихревого гидроэлеватора на 3-5% больше, чем у прямоточного. Для обеспечения нормальной работы гидроэлеватора рекомендуется увязать основные его параметры с параметрами циклонной камеры. Их соотношение должно быть следующим:

А. Вихревой гидроэлеватор (см. рис.1,Г-2,б):

1. Диаметр приемной камеры $d_{п.к} = d_{пес}$;
2. Диаметр рабочего сопла $d_0 = 0,25 d_{пес} = 0,5 к.с$;
3. Диаметр камеры смешения $d_{к.с} = 0,5 d_{пес}$;
4. Длина камеры смешения $l_{к.с} = (6 \div 8) d_{к.с}$;
5. Высота приемной камеры $t_{п.к} = d_{к.с}$;
6. Плечо рабочего сопла $r_0 = 0,75 d_{пес}$.

Если гидроэлеватор прямоточный, то между ним и песковым отверстием циклона размещается камера сгущения, основные параметры которой могут быть приближенно приняты из следующих условий:

Б. Прямоточный гидроэлеватор (см.рис.1,Г-2,а):

1. Диаметр камеры сгущения $d_{к.сг} = d_{пес}$;
2. Высота камеры сгущения $t_{к.сг.} = (3 \div 4) d_{пес}$;
3. Диаметр камеры смешения $d_{к.с} = d_{пес}$;
4. Длина камеры смешения $l_{к.с} = (6 \div 10) d_{к.с}$;
5. Диаметр рабочего сопла $d_0 = 0,5 d_{пес}$.

Исследования показали, что циклонное движение жидкости, создаваемое на всасывающей линии насоса, обеспечивает осаждение наносов крупнее 0,1 мм и потребляет незначительное количество промывного расхода (2–4% расхода насоса).

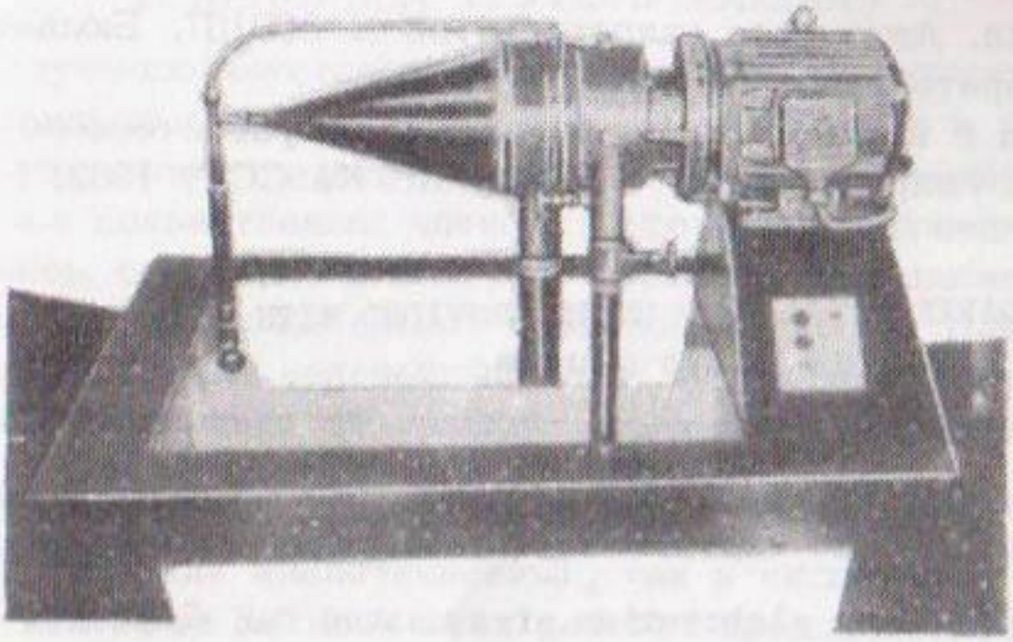


Рис.2. Гидроциклонная насосная установка на базе насоса ЗКМ-6

Гидроциклонная насосная установка может быть:

использована стационарно для подачи осветленной оросительной воды на поля;

смонтирована на передвижной насосной станции типа СНП-75/100 для подачи осветленной воды в закрытую оросительную сеть к дождевальным машинам "Фрегат", "Волжанка" и др.;

установлена на тракторе для подачи осветленной воды в дождевальные машины ДДА-100М и др.;

использована на землесосных снарядах в качестве сгустителя пульпы;

применена для очистки каналов, отстойников, а также шахтных колодцев с созданием замкнутой циркуляции рабочей жидкости.

Литература

1. Жангарин А.И. Способ улавливания осадка на всасывающей трубе насоса. Авторское свидетельство № 285500. Бюллетень изобретений № 33, 1970.
2. Жангарин А.И. Гидроциклонная насосная установка. Авторское свидетельство № 309157. Бюллетень изобретений № 22, 1971.
3. Жангарин А.И. К вопросу гидравлического расчета гидроциклонов. Вестник АН КазССР, 1962, № 10.

ZHANGARIN A.I. PUMP UNITS PROVIDED WITH HYDROCYCLONE INTAKE CHAMBERS

SUMMARY

The article expounds some results of the author's research on the elaboration of a method for sediments interception in the suction pipe of a pump unit (Certificate of authorship No 285500) and a new design of a hydrocyclone pump unit (Certificate of authorship No 309157). It is expedient to shift the position of the sediment-intercepting device from the delivery line to the suction line, thus soliving also the problem of keeping the operating device from abrading.

The cyclone method of intercepting sediments in suction pipes is easily implemented on the basis of existing models of centrifugal pumps, hydrocyclones and jet blowers, and does not require high capital costs. This method allows for settling sediments exceeding 0.074 mm in size and using for it a minor part of the flushing discharge (up to 2-4 per cent of the main pump's discharge).

УДК 532.5:621.643

М.Г.Хубларян
(ВНИИГиМ)

НЕУСТАНОВИВШЕЕСЯ ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

Изучению неустановшегося движения жидкости в трубах посвящено большое количество работ. Однако в большинстве из них делается ряд предположений и упрощений: пренебрежение конвективным членом в уравнении движения (изменением скоростного напора), рассмотрение движения в напорных трубах идеальной и вязкой жидкости. Причем в последнем случае нелинейный член в уравнении, учитывающий потерю давления от трения, линеаризируется (принимается, что $\frac{\lambda|u|}{8d} = 2a = const$). Задачи в такой постановке решались как аналитическими, так и численными методами /1-6 и др./. Во всех этих работах предполагалось, что вдоль трубопровода отток или приток отсутствует. В последнее время появились работы, учитывающие приток или отток вдоль пути /5/, но задача в них упрощена (в уравнении движения пренебрегают всеми инерционными членами, не учитывается член, описывающий переменность расхода, линеаризируется нелинейный член). Получено линейное неоднородное уравнение типа уравнения теплопроводности и даются их решения для различных конкретных задач.

В данной работе стационарные задачи не рассматриваются, так как им посвящена обширная литература.

В статье дается метод решения уравнений неустановившегося движения жидкости с учетом оттока или притока вдоль пути, а также оценивается точность приближения.

Приведенные ниже зависимости, полученные на основе решения уравнения неустановившегося движения, могут быть широко использованы в исследованиях движения жидкости в напорных трубопроводах при машинном орошении, при расчете закрытых оросительных систем, дренажа, при подпочвенном поливе, орошении дождеванием и др. Во всех этих случаях имеет место неустановившееся движение и, что особенно следует подчеркнуть, движение с переменным вдоль пути расходом. Общность полученных результатов

позволяет без каких-либо ограничений использовать их во всех выше отмеченных случаях.

1. Уравнение неустановившегося движения в напорных трубах в общем случае может быть написано в следующем виде:

$$\frac{\partial \rho U f}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\rho U^2 f = -f\frac{\partial}{\partial x}(P+\gamma z) - \frac{\lambda}{8}\rho\chi|U|U \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho f}{\partial t} + \frac{\partial \rho U f}{\partial x} = q_1 .$$

Здесь

U, ρ, P – осредненные по поперечному сечению скорость, плотность и давление жидкости соответственно;

f – площадь поперечного сечения;

γ – удельный вес жидкости;

z – превышение центра тяжести сечения трубы над произвольной горизонтальной плоскостью;

λ – коэффициент сопротивления;

χ – сплоченный периметр.

q_1 – характеризует непрерывный дополнительный приток или отток на единицу длины трубопровода в единицу времени (в случае притока q_1 имеет положительный знак, в случае оттока – отрицательный).

Приток (отток), распределенный на некотором ограниченном отрезке трубопровода или сосредоточенный в отдельных точках, в каком-либо интервале времени можно учесть с помощью дельта функции Дирака и единичной функции Хевисайда.

Принимая, что изменения f и ρ подчиняются закону Гука, с учетом второго уравнения системы (1), получим:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U\frac{\partial U}{\partial x} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial x}(P+\gamma z) - \frac{\lambda}{8\delta}|U|U - Uq$$

$$\frac{1}{\rho c^2}\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x} = q \; ; \; C^2 = \frac{\partial P}{\partial \rho}, \; q = \frac{q_1}{\rho f}, \quad (2)$$

где $\delta = \frac{f}{\chi}$ – гидравлический радиус.

Если придерживаться обычной методики, о которой было сказано выше (случай $q=0$, пренебрегают членом $u\frac{\partial u}{\partial x}$ и линеаризуют член $\frac{2}{\delta\delta}|u|u=2a_{cp}u$), из системы (2), исключая либо p , либо u , при $q=const$ получаем следующие линейные дифференциальные уравнения гиперболического типа

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2}+(a+q)\frac{\partial p}{\partial t}=c^2\frac{\partial^2 p}{\partial x^2}+c^2\rho q(a+q), \tag{3}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t}+(a+q)\frac{\partial u}{\partial t}=c^2\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}. \tag{4}$$

Решение уравнений (3), (4) при соответствующих начальных и граничных условиях не представляет трудности.

Если пренебречь и членом $\frac{\partial u}{\partial t}$ в (2), получим уравнения параболического типа, конкретный случай которых рассмотрен в литературе /5/.

В случае $q\neq const$ имеем уравнения гиперболического типа с переменными коэффициентами, для которых не существует общего метода решения и для каждого частного случая требуется особый подход.

2. Дадим оценку точности приближений, написав систему (2) в следующем виде x):

$$\rho\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{\partial p}{\partial x}=-\varepsilon\left(2a\rho u+\rho u\frac{\partial u}{\partial x}\right)$$

$$\frac{1}{c^2}\frac{\partial p}{\partial t}+\rho\frac{\partial u}{\partial x}=0 \quad (q=0) \tag{5}$$

---

x) Исследования по оценке точности решения выполнены совместно с Ю.М.Блитштейном.

Здесь выражение в скобке принимается за малую величину. Решение (5) ищем в виде:

$$U = U_0 + \varepsilon U_1 + \varepsilon^2 U_2 + \ldots \quad P = P_0 + \varepsilon P_1 + \varepsilon^2 P_2 + \ldots \quad (6)$$

где U_0 и P_0 – решение системы уравнений (5) при $\varepsilon = 0$ (модель движения идеальной жидкости без члена $\rho U \frac{\partial U}{\partial x}$), а $U_1, U_2, \ldots P_1, P_2 \ldots$ – некоторые малые добавки с нулевыми начальными и граничными условиями.

Подставляя (6) в (5) и ограничиваясь членами порядка ε, получим

$$\rho \frac{\partial U_1}{\partial t} + \frac{\partial P_1}{\partial x} = -\left(2a\rho U_0 + \rho U_0 \frac{\partial U_0}{\partial x}\right)$$

$$\rho = \frac{\partial U_1}{\partial x} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial P_1}{\partial t} = 0 \quad (7)$$

Или, исключая P, имеем

$$\frac{\partial^2 U_1}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 U_1}{\partial x^2} = \Psi_0(t,x) \left[\Psi_0(t,x) = -2a \frac{\partial U_0}{\partial t} - \frac{1}{2} \frac{\partial^2 U_0{}^2}{\partial t \partial x}\right] \quad (7')$$

Решение для функции U_0 при краевых условиях

$$U_0|_{t=0} = 0, \quad \frac{\partial U_0}{\partial t}\Big|_{t=0} = 0, \quad \frac{\partial U_0}{\partial x}\Big|_{x=0} = 0, \quad U_0|_{x=\ell} = A = const \quad (8)$$

как известно имеет вид [1] :

$$U_0 = A - \frac{4A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos\left(\frac{2n-1}{2} \cdot \frac{\pi c}{\ell} t\right)}{2n-1} \sin\left(\frac{2n-1}{2} \cdot \frac{\pi(\ell - x)}{\ell}\right) \quad (9)$$

Решив уравнения (7') при нулевых краевых условиях с учетом значения $\Psi_0(t,x)$, после ряда преобразований получим:

$$U=A-\frac{4A}{\pi}(1-at)\left\{\sum_{k=1}^{\infty}\left[\frac{\cos\xi_k t+\frac{a}{\xi_k}\sin\xi_k t}{(2k-1)}-G_k(t)\right]\cdot\right.$$

$$\left.\sin\frac{2k-1}{2}\cdot\frac{\pi(l-x)}{l}\right\}\ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

где $G_k(t)=\frac{4A^2}{\pi^2 c}\sum_{n=1}^{\infty}\left\{\frac{(2n-1)[(2k-1)-(-1)^{k+n}(2n-1)][(2k-1)\sin\frac{\pi c}{2l}(2n-1)t]}{4(2k-1)[(k-n)(k+n-1)]^2}-\right.$

$$\left.-\frac{(2n-1)\sin\frac{\pi c}{2l}(2k-1)t}{4(2k-1)[(k-n)(k+n-1)]^2}-\frac{4n[(2k-1)\sin\frac{\pi c}{l}nt-2n\sin\frac{\pi c}{2l}(2k-1)t]}{[(2k+2n-1)(2k-2n-1)^2]^2}\right\}$$

$$\xi_k=\frac{(2k-1)\pi c}{2l}$$

Таким образом, в первом приближении решение уравнения (5) описывается соотношением (10), где $G_k(t)$ учитывает конвективную составляющую уравнения (5). В случае $G_k(t)=0$ приходим, с учетом первого приближения по малому параметру a, к известному решению линейной задачи /1/. Легко показать, что последующие приближения приводят к точному решению этой задачи.

Решение задачи с нелинейным трением аналогичным методом показало, что $a=\frac{\lambda}{8\delta}A$.

Исследования для других краевых условий (8), а также при $q\neq 0$ аналогичны проделанному. В последнем случае под $2a$ следует подразумевать ($2a+q$) и использовать полученные результаты.

3. Рассмотрим случай, когда труба абсолютно жесткая, а жидкость несжимаемая ($d\rho=0$). Тогда (2) примет вид

$$\frac{\partial U}{\partial x}=q \quad (11)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}-\alpha U^2-2qU,\ \text{где}\ \alpha=\frac{\lambda}{8\delta} \quad (12)$$

Из (12) нетрудно заметить, что при оттоке могут наблюдаться следующие три случая:

$$\frac{\partial P}{\partial x} < 0 \quad \text{, если} \quad q < \frac{\alpha U}{2} + \frac{1}{2}\frac{\partial \ln U}{\partial t}$$

$$\frac{\partial P}{\partial x} = 0 \quad \text{, если} \quad q = \frac{\alpha U}{2} + \frac{1}{2}\frac{\partial \ln U}{\partial t}$$

$$\frac{\partial P}{\partial x} > 0 \quad \text{, если} \quad q > \frac{\alpha U}{2} + \frac{1}{2}\frac{\partial \ln U}{\partial t}.$$

Таким образом, в зависимости от величины q, U, α и $\frac{\partial \ln U}{\partial t}$ вдоль трассы трубопровода давление может падать, расти и оставаться постоянным. Аналогичные рассуждения действительны и при стационарном случае, тогда $\frac{\partial U}{\partial t} = 0$.

Принимаем, что величина оттока или притока зависит от давления:

1) случай пористой трубы

$$q = \frac{\partial U}{\partial x} = \beta(P_0 - P) \qquad \beta = \frac{K}{\delta \ell \gamma}, \tag{13}$$

где K – коэффициент фильтрации, ℓ – толщина;

2) случай трубы с отверстиями

$$q = \frac{\partial U}{\partial x} = \delta\sqrt{P_0 - P} \qquad \delta = \frac{\mu \Sigma \omega}{\ell \varphi}\sqrt{\frac{2g}{\gamma}}, \tag{13'}$$

где μ – средний по длине трубопровода коэффициент расхода отверстий, $\Sigma\omega$ – суммарная площадь отверстий, ℓ – длина трубопровода.

Тогда из (11) и (12) получим соответственно

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{1}{\rho\beta}\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} - 2U\left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\alpha}{2}U\right) \tag{14}$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{1}{\rho\delta^2}\frac{\partial}{\partial x}\left[\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2\right] - 2U\left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\alpha}{2}U\right) \tag{14'}$$

(В случае оттока в (14) и (14') член $2U\frac{\partial U}{\partial x}$ имеет положительный знак).

Уравнения (14) и (14') – нелинейные и получить их решения аналитическим путем не представляется возможным. Однако, если в (14) принять, что множитель перед скобкой $2U \approx 2U_{ср} = const$, то получим линейное уравнение типа конвективной диффузии или теплопроводности. Из (14) видно, что для случая оттока выражение в скобке, как и в (12) может иметь любые значения (как положительное, так и отрицательное). К этому уравнению без особого труда может быть применен изложенный приближенный метод решения и оценка точности.

При соответствующих краевых условиях можно пользоваться решениями линеаризованного уравнения (14), приведенными во многих книгах и статьях, посвященных конвективным переносам [7] или с помощью подстановки в (14)

$$U = V\exp\left[U_{ср}\rho\beta x - U_{ср}^2\beta t + U_{ср}\alpha\right] \qquad (15)$$

получить обычное уравнение теплопроводности относительно V

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{1}{\rho\beta}\frac{\partial^2 V}{\partial x^2}, \qquad (16)$$

для которого решения приводятся во многих справочниках [8]. При этом следует также видоизменить (и записать) краевые условия относительно V.

4. Теперь на примере решения уравнения (2), пренебрегая инерционным членом и при $q=0$, оценим влияние линеаризации члена $\frac{2}{8\delta}|U|U$ на точность результата.

В этом случае получим следующие уравнения

$$a_1\frac{\partial U_1^2}{\partial t} = \rho c^2\frac{\partial^2 U_1}{\partial x^2} \quad \text{(нелинейный случай)} \qquad (17)$$

$$2a_1 U_{ср}\frac{\partial U_2}{\partial t} = \rho c^2\frac{\partial^2 U_2}{\partial x^2} \quad \text{(линеаризованный случай)}. \qquad (18)$$

Решение ищем в виде $u = f(x - wt)$, что соответствует распространению волны стационарной формы,

Подставив это выражение в (17)-(18), получим следующие обыкновенные дифференциальные уравнения для $f(\xi)$. Этим методом решается также полная система (2):

$$f_1'' + \alpha_1 f_1 f_1' = 0 \qquad \alpha_1 = \frac{2a_1 w}{\rho c^2}$$

$$f_2'' + \alpha_2 f_2 = 0 \qquad \alpha_2 = \alpha_1 U_{cp}.$$

Решение этих уравнений соответственно будет

$$U_1(x,t) = \sqrt{\frac{2A_1}{\alpha_1}} + \frac{\sqrt{2\alpha_1 A_1}}{e^{\sqrt{2\alpha_1 A_1}(x - wt - B_1)} - \frac{\alpha_1}{2}}$$

$$U_2(x,t) = A_2 + B_2 e^{-\alpha_2(x - wt)}$$

С учетом условия

$$U|_{x=\infty} = U_\infty, \quad U = f(x - wt)|_{x - wt = 0} = U_0,$$

определив A_1, B_1, A_2, B_2, окончательно получим

$$U_1(x,t) = U_\infty + \frac{\alpha_1 U_\infty}{\left(\frac{\alpha_1}{2} + \frac{\alpha_1 U_\infty}{U_0 - U_\infty}\right) e^{\alpha_1 U_\infty (x - wt)} - \frac{\alpha_1}{2}}$$

$$U_2(x,t) = U_\infty + (U_0 - U_\infty) e^{-\alpha_2(x - wt)}$$

По этим вражениям можно оценить влияние линеаризации члена $\frac{\lambda}{8\delta}|U| = 2a = const$.

В заключение отметим, что полученные уравнения и решения позволяют определить не только законы изменения U и P во времени и координате, но и необходимые размеры и параметры той или иной системы. Они могут служить также основой для автоматизированного управления закрытых оросительных систем.

Необходимо отметить, что характер и величина гидравлического сопротивления при неустановившемся движении существенно отличаются от тех, которые имеют место при установившемся движении. Поэтому использование значения гидравлического сопротивления, полученное при установившемся режиме, мало обосновано. Кроме того, имеющиеся исследования по изучению сопротивления приводят к противоречивым результатам [9].

Литература

1. Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. М., 1951.
2. Огибалов П.М., Мирзаджанзаде А.Х. Нестационарные движения вязкопластических сред. М., 1970.
3. Вишневский К.П. Применение ЭВМ для расчета нестационарных процессов движения воды в напорных трубопроводах. Математика и ЭВМ в мелиорации, ч.П, М., 1971.
4. Тарасевич В.В. Численный метод решения задачи о неустановившемся движении жидкости в сложной системе трубопроводов. Динамика сплошной среды. Вып.У, 1970.
5. Труды Московского института нефтехимической и газовой промышленности. Вып.97, 1971.
6. Белик Н.П., Семенов В.А., Зельдина Э.А. К расчету гидравлического удара в однониточном сложном трубопроводе. Гидротехника, 23, 1973.
7. Развитие исследований по теории фильтрации в СССР (1917-1967). М., 1969.
8. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. М., 1964.
9. Механика в СССР за 50 лет. Том 2. Механика жидкости и газа. М., 1970.

KHUBLARYAN M.G. UNSTEADY WATER FLOW IN PRESSURE PIPELINES

SUMMARY

The study presents a system of equations for unsteady liquid flow in pressure pipelines with the discharge varying throughout the route (The equations are in a general case non-linear). The accuracy of equation linearization is being assessed. Consideration is given to the cases when the outflow (inflow) is a constant, and when it is a function of the discharge in the pipeline (porous pipe, perforated pipe).

УДК 626.83

Канд.техн.наук В.Н.Машков
(САНИИРИ)

РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ КАСКАДА КАРШИНСКИХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Орошение Каршинской степи будет производиться водами Амударьи, транспортируемой на расстояние 75,6 км с помощью каскада шести насосных станций, поднимающих 175 м^3/с воды на высоту 130 м. Каскад Каршинских насосных станций представляет собой уникальный комплекс как по мощности и производительности насосных агрегатов и насосных станций в целом, так и по количеству ступеней подъема и относительно небольшой протяженности (а значит и аккумулирующей емкости) каналов между отдельными насосными станциями.

Протяженность машинных бетонированных каналов между насосными станциями составляет, км: 20; 1,4; 20,2; 4,5; 8,6. На всех станциях установлено по шесть насосов производительностью 40 м^3/с (шестой насос - резервный). Мощность электродвигателя насоса 12500 кВт. Сбросное сооружение в нижний бьеф на каждой станции рассчитано на расход 40 м^3/с.

Для обеспечения нормальной работы каскада особенно важны синхронизация работы всех станций и оптимизация регулирования их производительности. При нарушении равенства производительности насосных станций относительно небольшая емкость промежуточных машинных каналов может создавать угрозу их быстрого переполнения. Большая установленная мощность насосных агрегатов обусловливает необходимость выявления оптимальных способов регулирования производительности насосных станций, обеспечивающих высокий среднеэксплуатационный к.п.д. насосных агрегатов.

Регулирование производительности насосных агрегатов осуществляется с помощью изменения угла разворота лопастей от 0° до -9°, подача воды при оптимальном режиме работы насосных агрегатов колеблется от 25 до 40 м^3/с. Уменьшение угла разворота лопастей приводит к неравномерному снижению к.п.д. насосного агрегата. При разных напорах насоса к.п.д. имеет различный характер.

Для выявления оптимального способа регулирования производительности насосных станций необходимо для каждой заданной подачи выявить такие углы разворота лопастей работающих агрегатов, которые обеспечили бы максимальный к.п.д. насосной станции в целом. Выбор рационального сочетания углов разворота лопастей насосных агрегатов достаточно удобно и наглядно можно осуществлять по кривым зависимости потерянной энергии в насосе от его подачи для каждого заданного напора. Эти кривые могут быть построены по универсальным характеристикам насосных агрегатов для заданных геометрических напоров.

На универсальную характеристику насоса накладываются характеристики трубопроводов. Точки пересечения характеристики трубопровода с кривыми $Q-H$ универсальной характеристики насоса будут рабочими точками насосного агрегата данного геометрического напора.

Для каждой рабочей точки определяется мощность, потребляемая насосом $N = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta_{насоса}}$. Потери мощности $(N_п)$ очевидно будет представлять собой разность потребляемой и полезно затраченной мощности, т.е.

$$N_п = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{\eta} - \gamma \cdot Q \cdot H \frac{(1-\eta_н)}{\eta_н},$$

где Q – подача насоса, м^3/с;
H – напор, м;
η – к.п.д. насоса.

По полученным данным определяются зависимости $N_п = f(Q)$ для заданных геометрических напоров насоса. На оси абсцисс откладывают значения Q рабочих точек для каждого угла разворота лопастей рабочего колеса (рис.1).

Для каждой заданной подачи насосной станции, которая слагается из подач отдельных насосных агрегатов, существует оптимальный подбор углов разворота лопастей рабочих колес насосов, при котором $\Sigma N_п$ всех насосных агрегатов будет минимальной.

Анализ кривых зависимости $N_п = f(Q)$, построенных для геометрических высот подъема $(H_г)$, равного 24, 25 и 26 м, показал, что для любой производительности насосной станции минимальные значения $\Sigma N_п$ получаются

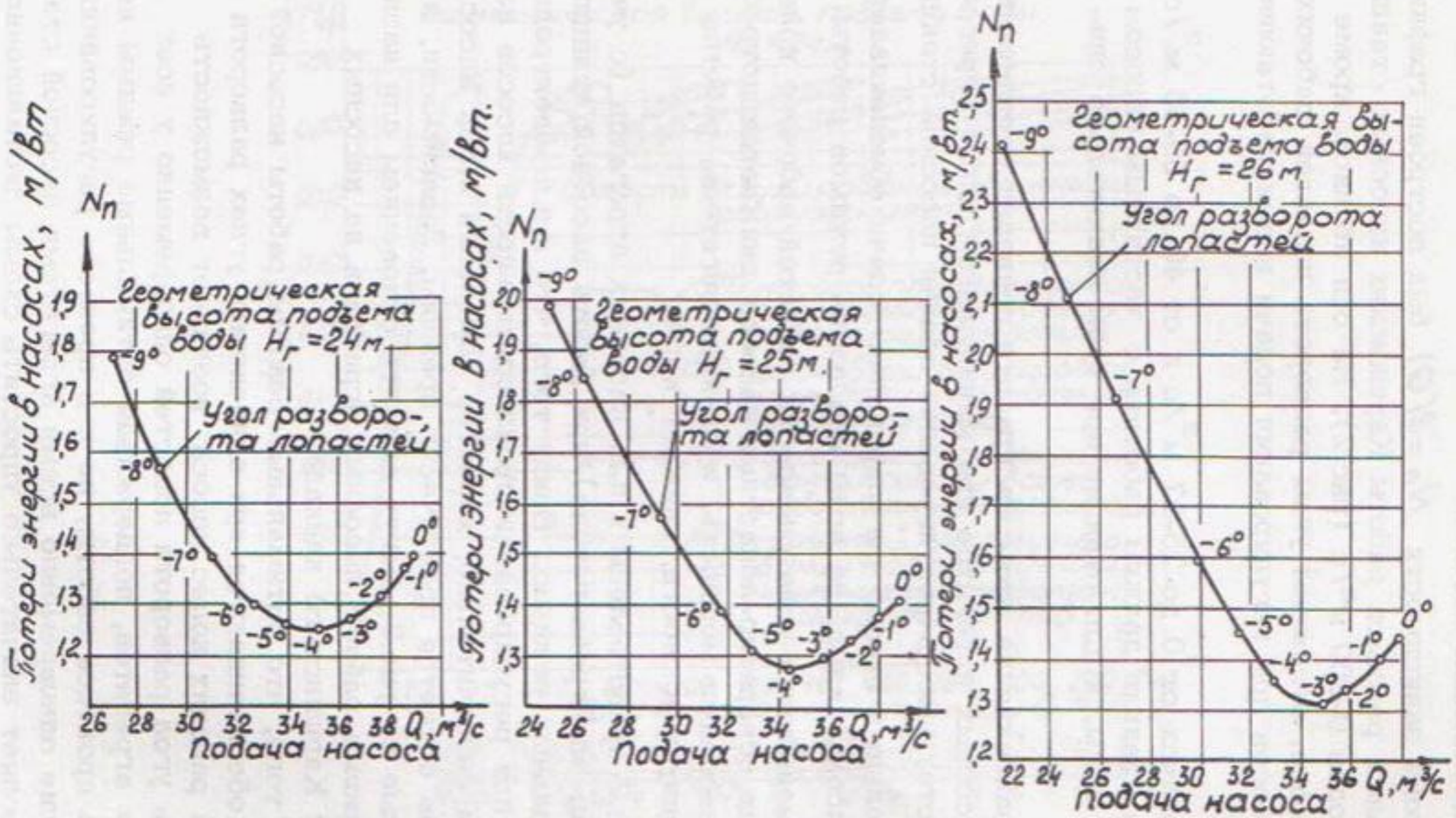


Рис. 1. Зависимость потерь энергии в насосе Оп10–260 от угла разворота лопастей и подачи при различной высоте подъема воды

при одинаковых углах разворота лопастей рабочих колес у всех работающих насосов.

На основе зависимости $N_n = f(Q)$ был построен график оптимальных режимов работы Каршинских насосных станций для расходов 0–200 м^3/с (рис.2). На оси абсцисс, кроме подач насоса, отложены углы разворота лопастей рабочих колес насосов при регулировании подачи всеми работающими насосами.

При подачах от 0 до 25–27 м^3/с и от 40 до 50–55 м^3/с насосные станции должны работать с частичным сбросом поднятой воды, к.п.д. станции при этом значительно снижается.

Для сравнения на этом же графике приведен осредненный к.п.д. насосных агрегатов при минимальном числе агрегатов, участвующих в регулировании подачи насосной станции.

Оптимальный способ регулирования подачи обеспечивает более высокий к.п.д. на всем диапазоне режимов работы.

При уменьшении угла разворота лопастей рабочего колеса осевых поворотно-лопастных насосов снижается потребляемая насосами мощность, и электродвигатель, работая не на полную мощность, снижает к.п.д.

На рис.2 представлены к.п.д. насосных агрегатов (с учетом к.п.д. электродвигателя) при работе насосной станции в оптимальных режимах. Ввиду того, что к.п.д. электродвигателей при регулировании производительности насосов изменяется незначительно, характер изменения к.п.д. насосных агрегатов остается практически прежним. Зависимости, представленные на рис.2, могут служить основанием для назначения режима работы насосных агрегатов на насосных станциях Каршинского каскада.

Ввиду того, что оптимальные режимы работы насосной станции обеспечиваются при одинаковых углах разворота лопастей рабочих колес насоса, возникает возможность изменять угол разворота лопастей одновременно у всех насосных агрегатов, поддерживая оптимальные режимы не только в процессе работы, но и в процессе регулирования. Управление одновременно всеми агрегатами насосной станции позволяет значительно упростить схемы дистанционного управления станцией и ее автоматизацию.

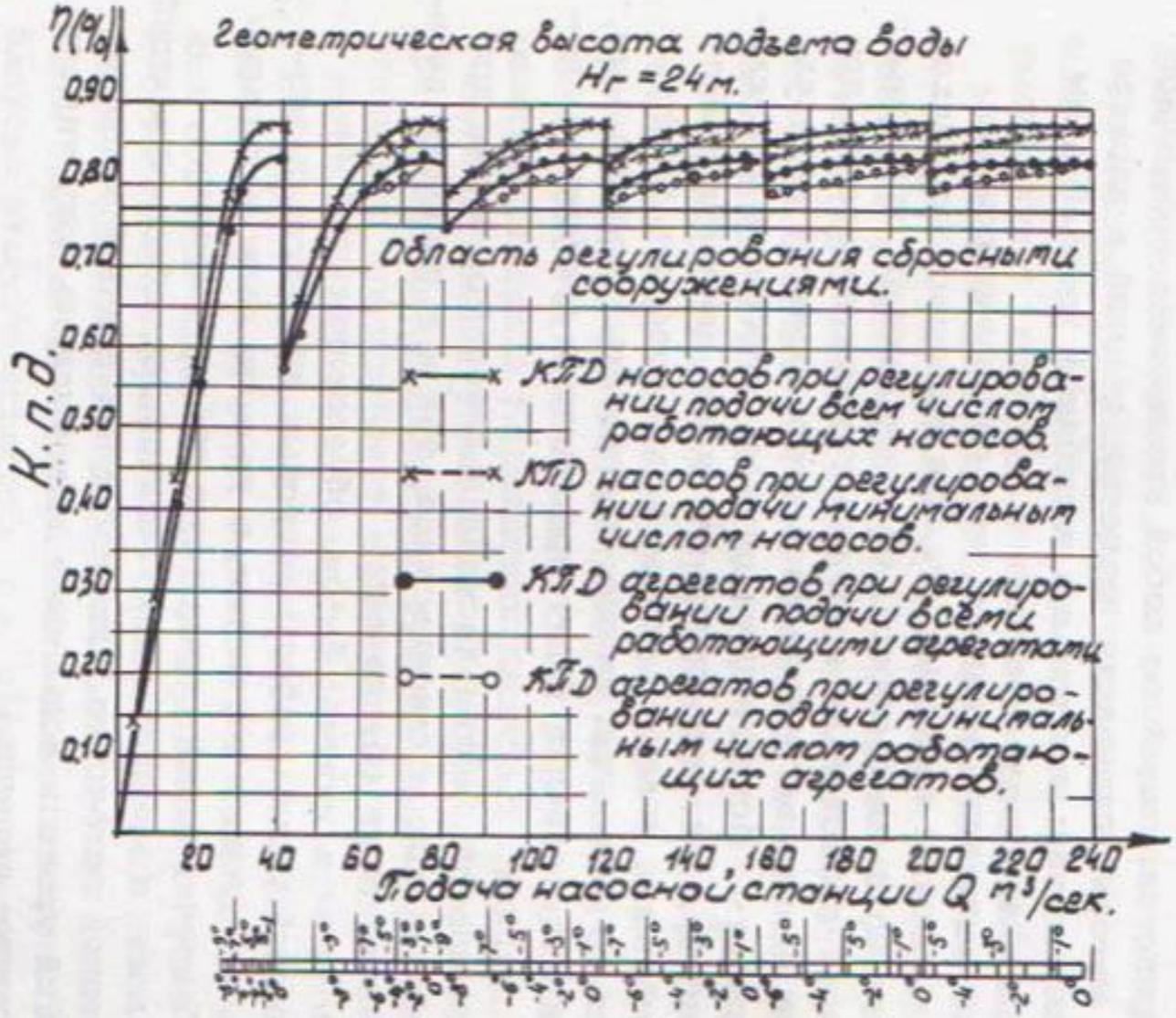


Рис. 2. Зависимость обобщенного к.п.д. работающих насосов Оп10–260 и насосных агрегатов от подачи насосной станции при регулировании подачи всеми насосными агрегатами и минимальным их числом

Кроме того, одновременный разворот лопастей рабочих колес у всех работающих насосных агрегатов позволяет поддерживать одинаковую допустимую высоту всасывания в то время, как при регулировании производительности одним агрегатом необходимо в нижнем бьефе поддерживать уровень, обеспечивающий нормальную работу агрегата, имеющего в данный момент наименьшую высоту всасывания (наибольшее Δh). Регулирование минимального числа насосных агрегатов влечет за собой уменьшение возможного диапазона авторегулирования насосных станций в каскаде за счет уменьшения допустимых колебаний уровней воды в нижнем бьефе насосных станций.

Есть все основания полагать, что для регулирования производительности насосных станций Каршинского каскада наиболее оптимален способ, обеспечивающий одновременный разворот лопастей на всех работающих агрегатах при сохранении одинакового угла разворота лопастей на всех режимах работы. Исключением служат агрегаты, запускаемые в работу, т.к. они будут, очевидно, начинать работу при минимальных углах, и затем угол разворота будет доводиться до общеагрегатного; и агрегаты отключаемые, у которых эти операции будут проводиться в обратном порядке.

Для нормальной работы каскада необходимо, чтобы при любых подачах как установившихся, так и в процессе перерегулирования были обеспечены:

уровень воды в нижнем бьефе, обусловливающий бескавитационный режим работы насосных агрегатов и возможность их пуска и остановки, и уровень воды в верхнем бьефе, обеспечивающий нормальную работу сифона;

объем воды в каналах между станциями, обеспечивающий при внезапной остановке всех насосных станций каскада статический уровень воды ниже максимально допустимого (во избежание перелива);

отсутствие выброса воды из канала при волновых процессах, вызванных внезапной остановкой агрегатов или их перерегулированием;

незаиляемость каналов, т.е. обеспечение таких скоростей течения воды, при которых транспортирующая способность потока была бы выше, чем транспортирующая способность в подводящем канале первой насосной станции (земляное русло);

скорости снижения горизонта воды в каналах, исключающие возможность возникновения гидростатического давления под облицовкой канала, способного вызвать ее разрушение.

В связи с тем, что уровни воды в каналах между насосными станциями зависят от объема воды в них и расхода насосных станций, объем воды в каналах между насосными станциями является основным показателем, определяющим возможность нормальной работы каскада.

По-видимому, существуют предельные объемы воды в каналах между станциями, дальнейшее увеличение (или уменьшение) которых может вызвать аварийную ситуацию.

Максимальный предельный объем воды в каналах между станциями ограничивается, в основном, возможностью установления в нем статического уровня выше отметки верхней точки откоса канала при внезапном отключении энергопитания насосной станции или всего каскада и величиной волны, образующейся в той же ситуации.

Учитывая статические уровни в каналах между насосными станциями и предельные объемы воды в них, образующиеся при внезапной остановке станций, намечены контуры двух возможных технологических схем управления гидравлическим режимом каскада Каршинских насосных станций.

Автоматизация управления каскадом насосных станций при поддержании проектных уровней воды в каналах между станциями представляет определенные трудности из-за:

необходимости перед запуском насосных агрегатов второй и последующих станций обеспечивать подтопление рабочего колеса до 8 м за счет накопления в каналах дополнительных объемов воды. По окончании процесса пуска в целях восстановления проектного (равномерного) режима работы каналов накопленный дополнительный объем воды должен быть сработан за счет разности подач станций. Так, для запуска второго агрегата, т.е. обеспечения подтопления рабочего колеса на 8 м в канал между третьей и четвертой насосной станцией необходимо дополнительно подать более 1 млн.м^3 воды, на что потребуется около 8 часов при максимальной подаче воды вторым агрегатом, включенным на третьей станции (см.табл.и рис.3). Для восстановления нормальных гидравлических режимов потребуется еще больше времени;

Дополнительный объем воды в время его образования первым агрегатом, необходимые для пуска в работу насосной станции

Каналы	Первый агрегат		Второй агрегат		Третий агрегат		Четвертый агрегат		Пятый агрегат	
	объем воды, тыс. $м^3$	время работы, ч	объем воды, тыс. $м^3$	время работы, ч	объем воды, тыс. $м^3$	время работы, ч	объем воды, тыс. $м^3$	время работы, ч	объем воды, тыс. $м^3$	время работы, ч
НС1-НС2	1520	10,6	916,5	6,35	577	4,0	432	3,0	278,5	1,93
НС2-НС3	168	1,17	117	0,80	81	0,56	52	0,36	28	0,19
НС3-НС4	1800	12,5	1137	7,9	720	5,0	486	3,37	317,6	2,2
НС4-НС5	535	3,7	324	2,25	203	1,40	98	0,68	54	0,37
НС5-НС6	920	6,4	535	3,7	305	2,1	1340	0,93	102	0,71
Итого по каскаду		35,3		21,0		13,08		8,34		5,4

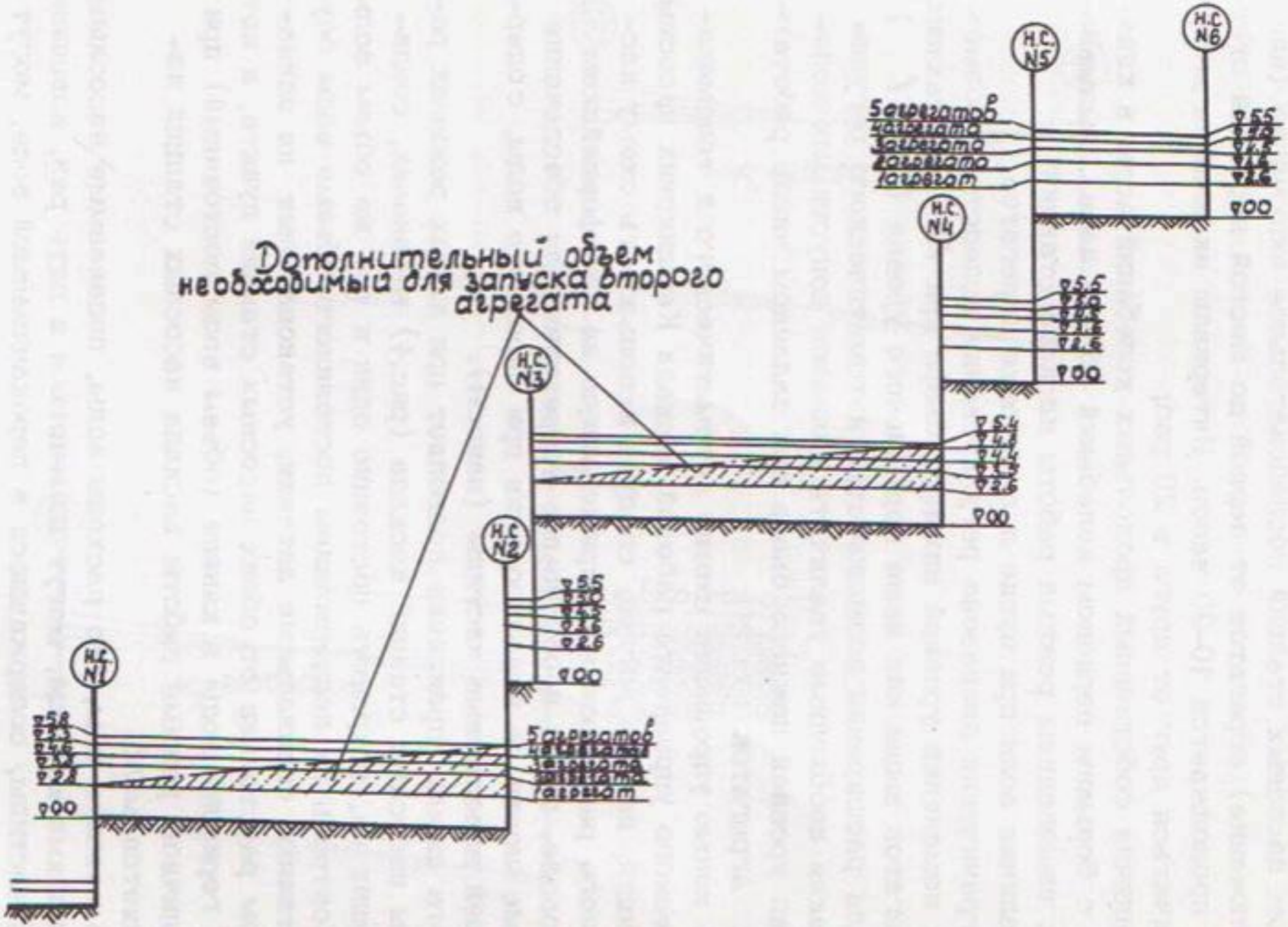


Рис. 3. Уровни воды в каналах при проектных режимах работы Каршинского каскада насосных станций

различной протяженности каналов между насосными станциями, и, соответственно, различной их аккумулирующей емкости. При увеличении или уменьшении подачи воды каскадом насосных станций последовательное включение (или отключение) агрегатов от первой до шестой насосной станции продолжается 10–20 часов. Интервалы включения могут отличаться друг от друга в 20 раз;

наличия собственных продольных колебаний воды в каналах с большим периодом колебаний (более часа), вызываемых изменением режима работы каскада станций;

наличия волн при пуске и остановке агрегатов;

ограничения диапазона регулирования вследствие возможных изменений уровней нижнего бьефа при n работающих агрегатов выше или ниже нормального уровня ($n \pm 1$)

Для расширения возможностей автоматического регулирования необходимо увеличить диапазон допустимых колебаний уровней нижнего бьефа при заданном числе работающих агрегатов.

С целью упрощения схемы автоматического и телемеханического управления работой каскада Каршинских насосных станций, на наш взгляд, следует использовать схему каскадного регулирования, примененную на Калифорнийском водоводе, внеся необходимые коррективы для обеспечения возможности ее использования при перекачке воды, содержащей взвешенные частицы (наносы).

Эта схема управления позволяет при любых режимах работы насосных станций каскада (рис.4) в каналах, соединяющих их, сохранять постоянно один и тот же объем воды.

Контроль за поддержанием постоянного объема воды осуществляют специальные датчики, установленные на одинаковом расстоянии от обеих насосных станций пункте, в котором горизонт воды в канале (объем воды постоянный) при различном режиме работы каскада насосных станций изменяется мало.

В связи с тем, что расходы воды, подаваемые насосными станциями каскада, могут изменяться в пять раз, взвешенные частицы, содержащиеся в перекачиваемой воде, могут осаждаться в каналах.

Как показывают расчеты, при нормальном (равномерном) режиме течения в подводящем канале и постоянном объеме воды в каналах заиление каналов между насосными станциями исключается.

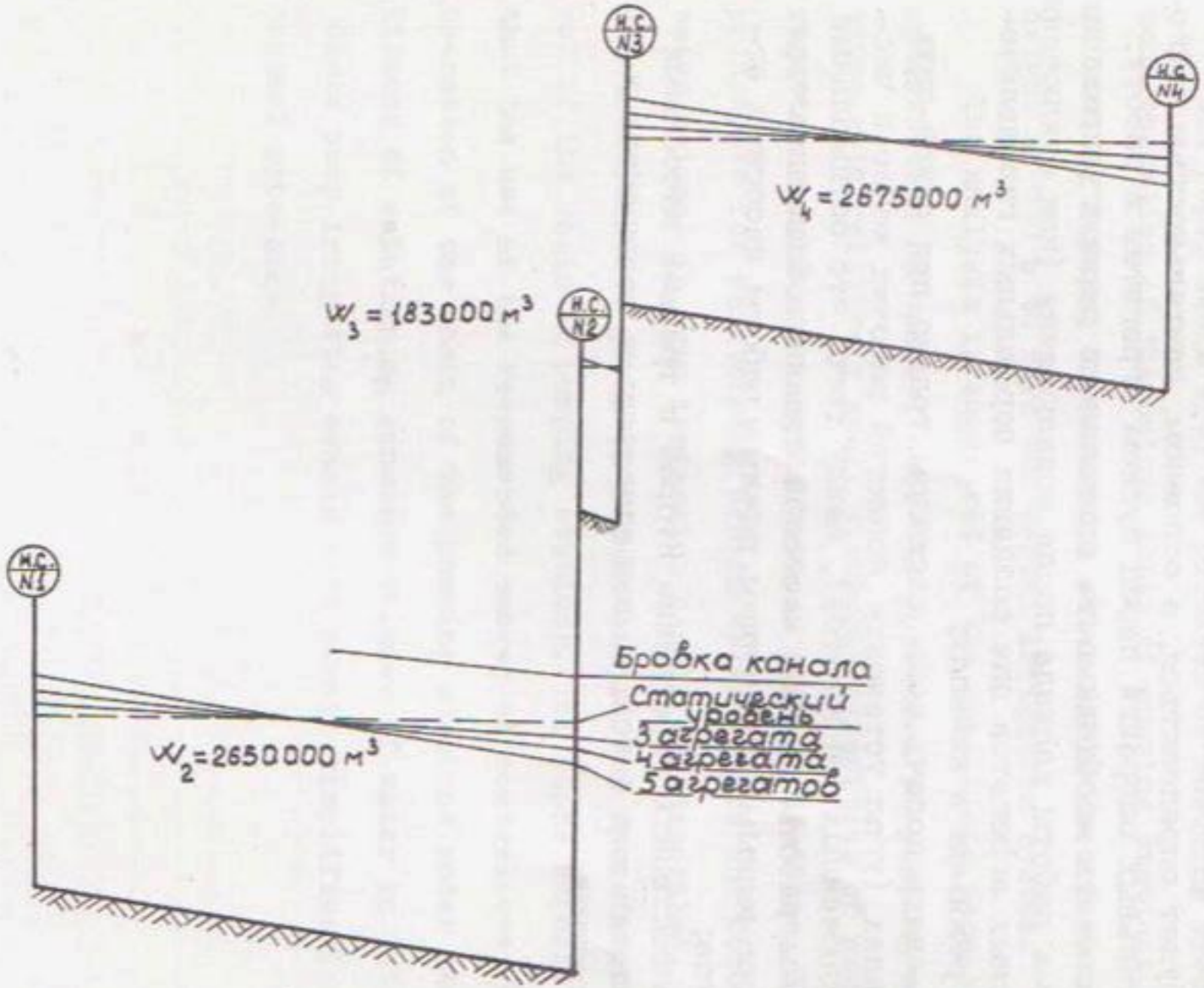


Рис. 4. Уровни воды в каналах Каршинского каскада насосных станций при постоянном объеме воды в них

Применение схемы работы Каршинского каскада насосных станций при поддержании постоянных объемов воды в промежуточных машинных каналах позволит:

упростить регулирование режима изменения подачи воды работы насосных станций каскада. Подключать и отключать агрегаты можно одновременно на всех насосных станциях (с учетом возможности энергосистемы). Таким образом, скорость изменения подачи воды каскадом насосных станций будет определяться, в основном, длительностью подготовительных операций перед пуском агрегатов в работу;

исключить необходимость длительного перерегулирования режима работы каскада после подключения (или отключения) насосных агрегатов для создания нормальных гидравлических режимов в каналах;

изменять подачу воды каскадом только при одной-двух командах (угол установки лопастей рабочих колес и число включенных агрегатов), ввиду того, что оптимальные режимы работы каждой насосной станции обеспечиваются одновременным изменением режима работы насосных агрегатов;

осуществлять управление второй и третьей насосными станциями как одной, с последовательно соединенными агрегатами.

MASHKOV V.N. CONTROL OVER OPERATION OF THE CHAIN OF THE KARSHI PUMPING STATION

SUMMARY

The paper deals with the problems of ensuring synchronous operation of the unique chain of pumping stations, six in number, lifting the Amudarya water (175m^3/sec.) to a height of 130 m to feed the Karshi irrigation system.

The analysis is suggested of the conditions permitting optimization of control over the operation of pumping stations with relatively small discharge capacities of pump irrigation canals and lengths between pumping stations. The principles for maintaining design water levels and constant water volumes in pump irrigation canals are described. Recommendations are given on automatization of operation control of the chain of pumping stations. The paper emphasizes that the use of the recommended scheme of control over the operation of the chain of the pumping stations under the conditions of maintaining constant volumes of water in intermediate pump irrigation canals will permit simplification of control processes.

УДК 621.65-519

С.Г.Фатюшенко
(В/О "Союзводпроект")

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕЛЕМЕХАНИЗАЦИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Объем автоматизации и телемеханизации

По степени автоматизации насосные станции подразделяются на автоматические и полуавтоматические.

На автоматических насосных станциях осуществляют следующие технологические процессы: управление основными агрегатами, вспомогательным оборудованием станции и регулирование производительности насосной станции.

На полуавтоматических насосных станциях производят управление основными агрегатами и вспомогательным оборудованием станции. Производительность насосной станции регулируют вручную или из диспетчерского или опорного пункта при помощи средств телемеханики. Объем автоматизации и телемеханизации насосных станций в зависимости от характера их работы следующий.

Головные насосные станции

Автоматизация: управление основными насосными агрегатами и вспомогательным оборудованием. При каскадном регулировании расхода воды в канале автоматизируется процесс регулирования производительности насосной станции по уровню отводящего канала.

Телемеханизация: измерение расхода насосной станции; сигнализация неисправного состояния оборудования, включая сигнал аварии основных насосных агрегатов (один общий сигнал); сигнализация аварийного отключения станции; управление основными насосными агрегатами (в форме задания) при отсутствии автоматического регулирования.

Перекачивающие насосные станции

Автоматизация: управление основными насосными агрегатами и вспомогательным оборудованием насосной станции; регулирование производительности насосной станции по уровню воды в подводящем или отводящем канале, а при большом уклоне и значительной длине отводящего канала - по суммарному расходу потребителей.

Телемеханизация: измерение расхода насосной станции; сигнализация неисправного состояния оборудования насосной станции; сигнализация аварийного отключения насосной станции.

Насосные станции подкачки, работающие на закрытую сеть при поливе дождеванием

Автоматизация: управление насосными агрегатами и вспомогательным оборудованием станции; регулирование производительности насосной станции для полустационарных дождевальных систем, с поливными машинами "Фрегат" и "Волжанка", по "спросу" в зависимости от давления и расхода в напорном водоводе, а для стационарных дождевальных систем - по заранее заданной программе.

Телемеханизация: измерение расхода насосной станции; сигнализация неисправного состояния оборудования насосной станции; телеуправление - запрет работы насосной станции.

Насосные станции подкачки, работающие при поверхностном поливе

Автоматизация: управление насосными агрегатами и вспомогательным оборудованием станции.

Телемеханизация: измерение расхода насосной станции; сигнализация положения насосных агрегатов (включен отключен); сигнализация неисправного состояния оборудования станции; телеуправление пуском и остановкой основных насосных агрегатов.

Насосные станции скважинного водозабора

Автоматизация: управление насосным агрегатом.

Телемеханизация: сигнализация положения насосного агрегата; сигнализация неисправного состояния агрегата; телеуправление насосным агрегатом.

Насосные станции осушения

Автоматизация: управление насосными агрегатами и вспомогательным оборудованием станции; регулирование производительности насосной станции в зависимости от уровня в подводящем канале.

Телемеханизация: сигнализация аварийного состояния станции.

Насосные станции на скважинах вертикального дренажа

Автоматизация: управление насосным агрегатом в зависимости от уровня воды в скважине.

Телемеханизация: сигнализация неисправного состояния оборудования.

Автоматизация насосных агрегатов и вспомогательного оборудования насосных станций

Для унификации схем автоматизации насосных агрегатов и их вспомогательного оборудования, а также создания единой серии комплектных щитовых устройств В/О "Союзводпроект" в 1970 г. разработал типовые схемы автоматического управления, защиты и сигнализации насосных агрегатов с низковольтными и высоковольтными электродвигателями мощностью, превышающей 75 кВт, а также вспомогательного оборудования мелиоративных насосных станций. Типовые схемы, согласованные со всеми ведущими проектными организациями и утвержденные Минводхозом СССР в 1971 г., содержат схемы управления основными насосными агрегатами, вспомогательным оборудованием насосных агрегатов, вспомогательным оборудованием собственных нужд станции.

Для коммутации и защиты высоковольтных электродвигателей насосных агрегатов предусматривается применение комплектных распределительных устройств внутренней

установки типов КРУ2-10 (КРУ2-6) и КСО266. Из номенклатуры указанных устройств выбраны 3 шкафа КРУ и 3 устройства КСО, отвечающие требованиям электрической защиты высоковольтных электродвигателей насосных агрегатов.

Разработаны рекомендуемые схемы комплектных устройств возбуждения синхронных электродвигателей с машинными возбудителями, схемы устройств тиристорного возбуждения, поставляемые комплектно с электродвигателями. Приведенные схемы увязаны со схемами автоматического управления насосными агрегатами.

Схемы управления разработаны и унифицированы для агрегатов с осевыми насосами и центробежными насосами горизонтального и вертикального исполнения. Схема управления насосными агрегатами с горизонтальными центробежными насосами предусматриват возможность их пуска как с открытой, так и с закрытой задвижкой, с применением вакуум-системы и без нее. Схема устройства управления при этом остается прежней, изменяются только внешние цепи технологических блокировок. Основные схемы имеют варианты исполнения для высоковольтных и низковольтных электродвигателей. Схемы управления насосными агрегатами с высоковольтными электродвигателями разработаны на постоянном и переменном оперативном токе напряжением 220 В. Построение схемы при этом остается прежним, изменяется лишь тип применяемых реле.

Схемы автоматического управления насосными агрегатами обеспечивают: пуск и остановку агрегата от одного командного импульса, подаваемого с местного поста управления или из диспетчерского пункта при помощи средств телемеханики или автоматически от контактов автооператора; аварийную остановку агрегата при действии электрических и гидромеханических защит; предупредительную сигнализацию при неисправном состоянии агрегата.

Схемы управления вспомогательным оборудованием насосных агрегатов и собственных нужд станции составлены для каждого вида технологического оборудования (различные типы задвижек, насосов, систем смазки и охлаждения агрегата, вакуум-системы, дренажных насосов, вентиляции, отопления и т.д.).

Все схемы управления вспомогательным оборудованием взаимоувязаны со схемами управления насосными агрегатами.

Разработаны схемы измерения неэлектрических величин, схемы центральной сигнализации (РИС) как для постоянного, так и переменного тока, а также схемы питания цепей управления и сигнализации.

Описание необходимых схем управления, защиты и сигнализации для любой по мощности стационарной мелиоративной насосной станции приводится в разработанном типовом проекте Т-407-0-82. Кроме того, в 1972 г. на основе типовых схем разработал рабочий проект ОЛХ.084.097 комплектных устройств управления электроприводами мелиоративных насосных станций (насосными агрегатами; механизмами собственных нужд насосных станций и общестанционной сигнализации; электроприводами питания закрытой сети передвижных дождевальных установок) и ящики ввода и распределения энергии на шинах 0,4 кВ насосных станций.

Лушкий электроаппаратный завод с 1973 г. приступил к серийному производству комплектных устройств управления. Опытная партия этих устройств, изготовленная заводом в 1972 г., установлена на насосной станции совхоза им.Карла Маркса в Саратовской области.

В серию комплектных устройств управления электроприводами насосных станций входят:

шкафы управления низковольтными электродвигателями насосных агрегатов мощностью от 75 до 320 кВт;

шкафы управления высоковольтными электродвигателями насосных агрегатов мощностью от 250 кВт и выше на оперативном переменном и постоянном токе;

шкафы измерения неэлектрических величин;

шкафы автоматического регулирования производительности насосных станций подкачки, работающих на закрытую сеть;

ящики управления вспомогательным оборудованием станции;

ящики ввода и распределения энергии на шинах 0,4 кВ насосной станции.

Применение комплектных устройств с электроприводами упрощает проектирование электрической части и автоматизацию насосной станции любой мощности, обеспечивает комплектную поставку всего электрощитового оборудования на строительную площадку одним заводом и индустриальный метод монтажа этого оборудования.

В 1972 г. Гипроводхоз для объектов орошения Саратовского канала разработал рабочие чертежи 28 типоразмеров насосных станций, работающих на закрытую сеть, с применением поливных машин типа "Фрегат" и "Волжанка". В/О "Союзводпроект" совместно с Луцким электроаппаратным заводом разработал комплекты щитовых устройств для каждого типа насосной станции.

Автоматическое регулирование производительности насосных станций

В настоящее время при автоматическом регулировании производительности насосных станций изменяется только число работающих насосных агрегатов, которое зависит от изменения расхода станции или уровня воды в подводящем или отводящем каналах.

В/О "Союзводпроект" разработал следующие новые схемы регулирования:

1. Регулирование производительности головных насосных станций (при отсутствии каскадного регулирования) производится диспетчером с помощью средств телемеханики по графику водоподачи, путем подачи команд на пуск или остановку каждого агрегата, либо на выполнение графика водоподачи в форме задания. Насосные агрегаты в этом случае включаются и отключаются автоматически от "задатчика" нагрузки.

Схема автоматического регулирования насосной станции по форме "задания" разработана В/О "Союзводпроект" для головной насосной станции Куйбышевского обводнительно-оросительного канала.

2. Регулирование производительности перекачивающих насосных станций и головных насосных станций, работающих в каскаде, в зависимости от водообеспеченности системы, производится на основе изменения уровня воды в подводящем или отводящем канале.

В настоящее время В/О "Союзводпроект" разработал схемы автоматических регуляторов для перекачивающих насосных станций Самур-Апшеронского канала, Бородаевского опытного участка Волковской оросительной системы и Куйбышевского обводнительно-оросительного канала. Для Самур-Апшеронского канала опытный образец

автоматического регулятора изготовлен в лаборатории В/О "Союзводпроект" и установлен на насосной станции канала, где в настоящее время проходят пусковые испытания. Опытные образцы автоматических регуляторов будут установлены на Бородаевском участке Волковской оросительной системы и Куйбышевском обводнительно-оросительном канале.

3. Автоматическое регулирование производительности насосных станций подкачек, работающих на закрытую сеть с применением дождевальных машин "Фрегат" и "Волжанка", предусматривает включение и отключение насосных агрегатов в зависимости от потребности в оросительной воде.

Схема автоматического регулирования разработана В/О "Союзводпроект" совместно с Гипроводхозом и включена в альбом схем типового проекта Т-407-0-82.

Схема автоматического регулирования предусматривает установку на главном водоводе насосной станции индукционного расходомера (тип 4РИ или ИР-11) и реле давления на водовоздушном котле.

В дежурном режиме насосной станции, когда дождевальные машины не работают, давление в закрытой сети и в водовоздушном котле поддерживается бустер-насосом, работающим периодически в зависимости от уровня воды и давления в водовоздушном котле. Подача воздуха в воздушную полость котла не автоматизирована, т.к. эта операция производится редко (примерно один раз в неделю).

При необходимости подачи воздуха в водовоздушный котел компрессор включают с местного поста управления вручную.

Автоматический пуск первого насосного агрегата производится от контактов реле давления при понижении давления в водовоздушном котле. Последующие насосные агрегаты автоматически включаются и выключаются в зависимости от расхода.

Схема автоматического регулирования разработана для двух вариантов насосных станций: первый вариант - не более трех агрегатов и второй вариант - не более шести агрегатов. Для каждого варианта разработаны и серийно выпускаются комплектные устройства автоматического управления насосными станциями, работающими на закрытую сеть с применением передвижных дождевальных установок.

4. Автоматическое регулирование насосных станций подкачки, работающих на закрытую сеть с применением стационарных дождевальных установок, производится по заданной программе полива.

Схема программного устройства для различных программ полива разработана В/О "Союзводпроект" и внедрена на оросительной системе в Молдавии. В связи с небольшой потребностью в программных устройствах их изготавливают по индивидуальному заказу.

5. Автоматическое регулирование производительности насосных станций осушения осуществляется в зависимости от изменения уровня воды в подводящем канале, от датчиков уровня, серийно выпускаемых промышленностью.

6. Автоматизация электропривода скважинных насосов предусматривает:

пуск и остановку насосного агрегата в зависимости от изменения уровня воды в скважине для дренажных насосов,

пуск и остановку насоса в зависимости от расхода воды в напорной сети (по давлению или расходу) или по графику водопотребления с подачей команд с диспетчерского пункта при помощи средств телемеханики - для насосов скважинного водозабора;

защиту насосного агрегата от "сухого хода", перегрузки и короткого замыкания;

сигнализацию неисправного состояния насосного агрегата с передачей сигнала на диспетчерский пункт.

По заданию Минводхоза СССР разработаны и серийно поставляются в комплекте с насосными агрегатами станции автоматического управления типа ШЭТ и ПЭТ для электродвигателей мощностью от 12 до 65 кВт. Станции ШЭТ изготавливаются в релейном исполнении, станции ПЭТ - в бесконтактном исполнении на логических элементах "Логика-Т".

Телемеханизация насосных станций

Объем телемеханизации насосных станций зависит от их назначения, количества и типа насосных агрегатов, конкретных условий использования насосной станции и от структуры эксплуатации.

Раньше для телемеханизации насосных станций применялись преимущественно общепромышленные устройства телемеханики, предназначенные для телемеханизации небольшого числа объектов со значительным количеством сигналов телеуправления, телесигнализации и телеизмерения для каждого из них.

Рекомендуемые объемы телемеханизации насосных станций определены в "Основных положениях по автоматизации типовых технологических процессов в мелиорации и водном хозяйстве".

При установлении возможного объема телемеханизации насосных станций более целесообразно использовать местное автоматическое управление от устройств местной автоматики, а не телемеханическое управление с диспетчерского пункта через устройства телемеханики.

В настоящее время начался серийный выпуск нового устройства телемеханики ТМ-201, разработанного В/О "Союзводпроект" совместно с заводом телемеханической аппаратуры специально для телемеханизации гидромелиоративных систем. Это устройство предназначено для телемеханизации рассредоточенных объектов и одновременно может быть использовано для телемеханизации насосных станций.

Устройство ТМ-201 работает по двухпроводной линии связи: по воздушной (на расстояние до 60 км) и по кабельной (на расстояние до 25 км) линии. При применении ретранслятора, входящего в комплект устройства, дальность действия устройства увеличивается. Число объектов контроля и управления может доходить до 100.

На каждом контролируемом пункте производится телеуправление одним двухпозиционным или одним многопозиционным объектом; телесигнализация положения одного двухпозиционного объекта; и телеизмерение двух параметров.

Специальные аппараты отработки задания, поставляемые в комплекте с устройством, позволяют увеличить объем телеопераций по каждому объекту.

В комплекте с аппаратом отработки задания один аппарат контролируемого пункта может быть использован для телеуправления многопозиционным объектом методом задания уставки его положения и для телемеханизации до десяти единичных объектов телеуправления, телесигнализации, телеизмерения (например, насосной станцией с числом

агрегатов до десяти при необходимости управления и контроля каждого агрегата) с передачей для каждого из объектов индивидуальных сигналов телеуправления, телесигнализации, телеизмерения.

Телемеханизация насосных станций может осуществляться при помощи устройства ТМ-201. При этом на насосной станции устанавливают такое количество аппаратов контролируемого пункта, которое требуется для передачи всех необходимых сигналов с диспетчерского пункта на насосную станцию и обратно.

FATYUSHENKO S.G. AUTOMATIZATION AND TELEMECHANIZATION OF PUMPING STATIONS

SUMMARY

The paper suggests the data on the assigned volumes of automatization and telemechanization of pumping stations depending on the character of their operation. Consideration is given to the head and pressure-generating pumping stations of irrigation systems as well as to intermediate pumping stations serving the subsurface network designated for sprinkling irrigation; to the pumps set up at the water wells, at the wells of vertical and conventional drainage. The paper describes the unified typical schemes for automatic control, protection and signalling for pump units with engines, different in their voltages and capacities, as well as for auxiliary equipment.

These schemes are included into the typical pumping station design, while those for facilities controlling electric drive systems are given in the detail design. Both designs were developed by V/O "Sojuzvodproekt".

The paper describes the schemes developed for automatic control over capacities of pumping stations of different types. It also deals with the principles of telemechanization of pumping stations. The paper suggests the characteristics of a new mass-produced telemechanical means TM-201 for irrigation systems, including pumping stations, permitting to bring up the number of controllable points to 100 and to obtain information by means of remote control, telesignalling and telemetering.

УДК 626.342.3:633.51(575)

Лактаев Н.Т.

Полив хлопчатника по бороздам в Средней Азии.
Сборник статей советских специалистов.
IX Международный конгресс по ирригации и дренажу (Вопрос 32). ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975.

На основании опытов, проведенных в Узбекистане на разных почвах и уклонах, рекомендуются эмпирические зависимости для определения величины впитывания при поливе по бороздам; предлагается пятибалльная оценка почвогрунтов по водопроницаемости. На основании градации уклонов и водопроницаемости почв даются рекомендации по оптимизации элементов техники полива по бороздам. Рассматривается методика определения величины к.п.д. техники полива для слабоводопроницаемых почв и полей с большими и малыми уклонами, а также зависимости и величины суммарного испарения хлопкового поля.

Рассмотрено современное и перспективное использование оросительной воды в Узбекской ССР и рекомендуется развитие поверхностных способов полива.

УДК 626.84;631.445.52

Павлов Г.Н.
Поверхностный полив подверженных засолению земель с малыми уклонами.
Сборник статей советских специалистов.
IX Международный конгресс по ирригации и дренажу (Вопрос 32).
ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975.

На основании теоретических проработок и экспериментальных данных, полученных на землях с малыми уклонами в Голодной степи, выведены зависимости величин поливной нормы от точности регулирования водного режима и техники полива с учетом влияния на них длины и времени добегания воды по сухой борозде; скорости просачивания и впитывания воды. Даются рекомендации по расчету поливных норм в зависимости от динамики изменения залегания уровня грунтовых вод. При высоком уровне стояния грунтовых вод рекомендуются большие поливные нормы.

УДК 626.84:634.83

Сурин В.А.
Оросительная сеть для полива виноградников на крутых склонах.
Сборник статей советских специалистов.
IX Международный конгресс по ирригации и дренажу (Вопрос 32).
ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975.

Для бороздкового полива виноградников и садов на больших уклонах местности и каменистых почвах разработана самонапорная стационарная оросительная сеть, состоящая из закрытых распределительных трубопроводов, прокладываемых вдоль склона, и закрытых поливных трубопроводов, прокладываемых поперек рядков виноградников вдоль межклеточных дорог. Разработано несколько схем и конструкций закрытой оросительной сети, которые по сравнению с открытой сетью в земляном русле позволяют снизить затраты оросительной воды и повысить производительность труда на поливах.

УДК 631.67.633.63

Носенко В.Ф., Креккер Н.Ю.
Комбинированные поливы.
Сборник статей советских специалистов.
IX Международный конгресс по ирригации и дренажу (Вопрос 32).
ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975.

Исследованиями установлено, что комбинированные бороздково-дождевальные поливы, по сравнению с поливами только одним способом, обеспечивают более благоприятный водный режим почвы и приземного слоя воздуха, что в свою очередь способствует более интенсивному развитию растений и повышению их урожайности.

Разработаны технические средства и технология проведения комбинированных поливов.

УДК 626.81/84(47+57)

Никольская А.А.
Развитие прогрессивных способов орошения земель в СССР.
Сборник статей советских специалистов.
IX Международный конгресс по ирригации и дренажу (Вопрос 32).
ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975.

Рассматривается развитие современных способов орошения и техники полива. Приводятся основные показатели экономической эффективности дождевальных машин и установок. Освещаются вопросы, направленные на совершенствование конструкций оросительной сети.

УДК 626.845

Александров А.Д., Рассолов Б.К., Чичасов В.Я., Горшков В.В.
Мелкодисперсное дождевание сельскохозяйственных культур.
Сборник статей советских специалистов.
IX Международный конгресс по ирригации и дренажу (Вопрос 32).
ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975.

Рассматривается способ мелкодисперсного дождевания, способствующий повышению урожайности сельскохозяйственных культур за счет устранения депрессии фотосинтеза в жаркое время дня. Приведены технические характеристики установок, с помощью которых осуществляется мелкодисперсное дождевание.

УДК 626.84(477)

Бакшеев Е.А., Ким Л.И.
Прогрессивные способы полива в Украинской ССР.
Сборник статей советских специалистов.
1Х Международный конгресс по ирригации
и дренажу (Вопрос 32).
ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975.

Приведена общая характеристика развития орошения в республике. Рассматривается новый способ автоматизированного внутрипочвенного орошения с водно-аэрационными увлажнителями, при котором затраты воды на полив сокращаются на 30-40%, а урожай повышается на 5-10%.

УДК 626.845.002.5

Циприс Д.Б., Белинский С.М.
Критерии равномерности полива и оптимальное расположение источников дождевальных струй.
Сборник статей советских специалистов.
1Х Международный конгресс по ирригации
и дренажу (Вопрос 32).
ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975.

Рассматривается выбор оптимального расположения источника дождевальных струй при орошении. Приводятся критерии равномерности полива и оптимизации расположения источника дождевальных струй. Приводятся формулы для расчета равномерности полива.

УДК 626.845.002.5

Гусейн-Заде С.Х.
Определение конструктивных параметров многоопорных дождевальных машин.
Сборник статей советских специалистов.
IX Международный конгресс по ирригации и дренажу (Вопрос 32).
ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975.

Рассматривается методика и приведены рекомендации по расчету дождевальных машин-трубопроводов на колесах, перемещаемых в результате их вращения за счет момента кручения, и на самоходных тележках. Даны зависимости расстояний между дождевальными аппаратами и опорами (тележками).

УДК 626.844.001.2(575)

Легостаев В.М., Хамраев Н.Р., Окулич-Козарин Э.Л.
Исследование внутрипочвенного полива в Голодной степи.
Сборник статей советских специалистов.
IX Международный конгресс по ирригации и дренажу (Вопрос 32).
ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975.

Приведены результаты исследований внутрипочвенного орошения, проведенных в 1970-1973 гг. в совхозах Узбекистана на опытных участках площадью 4-10 гектаров. Установлена эффективность внутрипочвенного орошения хлопчатника.

УДК 626.84:633/635

Судницын И.И., Муромцев Н.А., Гинзбург М.С., Шеин Е.В.
Использование измерителей потенциала почвенной влаги для контроля за поливом сельскохозяйственных культур.
Сборник статей советских специалистов.
IX Международный конгресс по ирригации и дренажу (Вопрос 32).
ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975.

Приведены рекомендации по использованию и созданию приборов и датчиков для определения почвенной влажности ("критического потенциала"), при которой начинается снижение относительной транспирации.

УДК 626.84:628.133.5

Грамматикати О.Г., Емельянов В.А., Омаров К.К., Рамазанов Д.У., Шугаибов З.А.
Использование морской воды для орошения земель.
Сборник статей советских специалистов.
IX Международный конгресс по ирригации и дренажу (Вопрос 32).
ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975.

В статье приводятся сведения об ионном составе вод, о содержании биогенных элементов и биомассы в южных морях Советского Союза.

Излагаются также результаты первых опытов использования в целях орошения воды Каспийского моря.

Положительные результаты получены при орошении водой Каспийского моря декоративных древесных насаждений, выращиваемых на песках.

УДК 626.83

Жангарин А.И.
Насосные установки с гидроциклонной приемной камерой.
Сборник статей советских специалистов.
IX Международный конгресс по ирригации и дренажу (Вопрос 32).
ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975.

Приведены результаты исследований по разработке способа улавливания наносов на всасывающем трубопроводе насоса и рассмотрена новая конструкция гидроциклонной насосной установки.

Циклонный способ улавливания наносов на всасывающем трубопроводе легко осуществляется на базе существующих типов центробежных насосов, гидроциклонов и струйных аппаратов и не требует больших капитальных затрат.

УДК 532.5:621.643

Хубларян М.Г.
Неустановившееся движение жидкости в напорных трубопроводах.
Сборник статей советских специалистов.
IX Международный конгресс по ирригации и дренажу (Вопрос 32).
ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975.

Приводится система нелинейных уравнений неустановившегося движения жидкости в напорных трубопроводах с переменным вдоль пути расходом. Дается оценка точности линеаризации уравнений.

УДК 626.83

Машков В.Н.
Регулирование режима работы каскада Каршинских насосных станций.
Сборник статей советских специалистов
IX Международный конгресс по ирригации и дренажу (Вопрос 32).
ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975.

Рассматриваются вопросы обеспечения синхронной работы уникального каскада из шести насосных станций, поднимающих 175 $м^3/с$ воды из р.Амударьи на высоту 130 м для Каршинской оросительной системы. Анализируются условия, обеспечивающие оптимизацию регулирования режима работы насосных станций, устанавливаются принципы поддержания проектных уровней и постоянных объемов воды в машинных каналах, приводятся рекомендации по автоматизации управления работой каскада насосных станций.

УДК 621.65-519

Фатюшенко С.Г.
Автоматизация и телемеханизация насосных станций.
Сборник статей советских специалистов.
IX Международный конгресс по ирригации
и дренажу (Вопрос 32).
ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975.

Приведены данные об установленных объемах автоматизации и телемеханизации насосных станций в зависимости от характера их работы. Описаны разработанные В/О "Союзводпроект" унифицированные типовые схемы автоматического управления, защиты и сигнализации насосных агрегатов, а также вспомогательного оборудования.

Описаны разработанные схемы автоматического регулирования производительности различных типов насосных мелиоративных станций и новое серийно выпускаемое устройство телемеханики ТМ-201 для гидромелиоративных систем, в том числе насосных станций, позволяющее довести количество объектов контроля до 100 и получать информацию с помощью телеуправления, телесигнализации и телеизмерения.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС ПО ИРРИГАЦИИ
И ДРЕНАЖУ. (Вопрос 32)
Сборник статей советских специалистов

Литературные редакторы: И.Петровская, Г.Шварц,
И.Любавина, А.Филатова
Корректоры: О.Смирнова, Т.Янина, И.Мизанова
Технический редактор М.Бокарева

ЦБНТИ Минводхоза СССР
103287, Москва А-287, 2-й Хуторской пер.,7
Л-07237. Подп. к печ. 14/1У-75 г. Объем 9,5 уч.-изд.л.
Формат 60x90/16. Зак.368. Тир. 2500. Цена 1 руб.09коп.

Ротапринт ВНИИГиМ
141800, Дмитров, Московская обл., 2-я Левонабережная,12

ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
10	2 снизу	...с 10%-ной точностью т.	...с 10%-ной точностью.
28	формула 6	$\ldots 1-\eta^{\frac{1}{1-\alpha}} \ldots$	$\ldots 1-\eta^{\frac{1}{1-\alpha}} \ldots$
28	формула 7	$\ldots\left(1-\eta^{\frac{1}{1-\alpha}} \ldots\right)$	$\ldots\left(1-\eta^{\frac{1}{1-\alpha}}\right)\ldots$
75	2 сверху	$\ldots \frac{g d\kappa}{\nu^2} \ldots$	$\ldots \frac{g d^3\kappa}{\nu^2} \ldots$
88	1 снизу	IV- - -III	IV← - - -III
107	7 сверху	$\ldots \frac{16}{q} \ldots$	$\ldots \frac{1,6}{q} \ldots$
150	2 снизу	$q=\frac{q}{\rho f}$	$q=\frac{q_1}{\rho f}$
151	7 сверху	$\ldots \frac{\partial p}{\partial t} \ldots$	$\ldots \frac{\partial u}{\partial t} \ldots$
152	6 снизу	$u_0\big/_{t=0}=0$	$u_0\Big\vert_{\substack{x=0\\t=0}}$
152	4 снизу	$\ldots \frac{\cos\left(\frac{2n-1}{2}\cdot\frac{\pi c}{l}\cdot t\right)}{2n-1}$	$\ldots \frac{\cos\left(\frac{2n-1}{2}\cdot\frac{\pi c}{l}t\right)}{2\pi-1}$
155	17 сверху	$\ldots -u_{ср}^2 \beta t \ldots$	$\ldots -u_{ср}^2 \rho \beta t \ldots$