

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Департамент мелиорации

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и
сельхозводоснабжения» «Радуга»
(ФГБНУ ВНИИ «Радуга»)**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ОЦЕНКЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
МЕЛИОРАТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ 3-Х ПРИРОДНЫХ
УСЛОВИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИ
БЕЗОПАСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНО-
РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА АГРОЛАНДШАФТОВ**

Коломна 2015

УДК 631.67, 631.647

Авторский коллектив:

д-р техн. наук **В.И. Городничев**, канд. техн. наук **С.С. Турапин**,
канд. техн. наук **С.С. Савушкин**, канд. экон. наук **Д.Г. Ольгаренко**,
А.В. Муравьев, канд. техн. наук **А.А. Алдошкин**,
канд. техн. наук **А.А. Терпигорев**, канд. техн. наук **Т.А. Капустина**,
канд. с.-х. наук **В.И. Булгаков**, канд. с.-х. наук **И.А. Костоварова**

Под общей редакцией д-ра с.-х. наук, профессора **Г.В. Ольгаренко**
(ФГБНУ ВНИИ «Радуга»)

Методические рекомендации по оценке энергоэффективности мелиоративных объектов для 3-х природных условий, обеспечивающих экологически безопасное использование природно-ресурсного потенциала агроландшафтов: научн. издание. – Коломна: ИП Воробьев О.М., 2015. – 44 с.

ISBN 978-5-9906549-4-5

Методические рекомендации предназначены для использования Минсельхозом России для контроля и планирования повышения технического уровня оросительных и осушительных (ОР и ОС) систем России, научно-исследовательскими и проектными организациями для разработки технических заданий и проектов при проведении реконструкции, модернизации и технического перевооружения ОР и ОС, подведомственными федеральными бюджетными учреждениями, эксплуатационными организациями, собственниками мелиоративных систем и гидротехнических сооружений с целью обеспечения повышения надежности работы технического оборудования, машин и установок, использования ресурсосберегающих режимов орошения и осушения, повышения их энергоэффективности.

Рассмотрены и одобрены секцией мелиорации Научно-технического совета Минсельхоза России (протокол № 58 от 17 декабря 2014 г.).

УДК 631.67, 631.647

ISBN 978-5-9906549-4-5

Содержание

1.1	Методические рекомендации по оценке энергоэффективности мелиоративных систем, технологий и техники орошения.....	4
1.2	Энергетическая эффективность региональных мелиоративных объектов в различных природных условиях.....	25
	Выводы	44

1.1 Методические рекомендации по оценке энергоэффективности мелиоративных систем, технологий и техники орошения

Мелиоративная система (МС) – сложный природно – технический комплекс, являющийся составной частью агроландшафта, обеспечивающий регулирование круговорота воды, вещества, энергии и информации в её границах. В техническом отношении мелиоративная система выполняет следующие две функции:

- перевод воды из состояния тока в каналах в состояние нужной почвенной влажности на орошаемых землях или наоборот – удаление излишней почвенной влаги на осушаемых землях путем перевода её в состояние токов;
- транспортирование водных потоков по каналам системы в нужном количестве и необходимые сроки при орошении – от источника орошения к орошаемым площадям, при осушении – от осушаемых площадей к водоприёмнику.

Мелиоративные системы в зависимости от выполняемых функций делятся на оросительные и осушительные системы.

Оросительная система (Ор.С) – сложный природно-технический комплекс, являющийся составной частью агроландшафта, обеспечивающий забор, транспортировку и распределение оросительной воды по полям орошения и сброс её излишков в водоприемник. Оросительная система включает следующие подсистемы: водозаборную, проводящую, распределительную, водосборно-сбросную и технические средства полива.

В состав оросительной системы входят:

- орошаемые площади сельскохозяйственных земель, водный, воздушный и питательный режимы почв которых регулируются комплексом мелиоративных и агротехнических приёмов;
- источник орошения (река, озеро, водохранилище, подземные воды);
- головное сооружение, забирающее воду из источника орошения и подающее её в магистральный канал в необходимом для орошения сельскохозяй-

зяйственных культур объеме и в нужные, в соответствии с планом водопользования, сроки (насосная станция);

- главный (магистральный) оросительный канал, доставляющий воду на подлежащие орошению земельные массивы, состоящий из холостой части (от головного сооружения до первого распределительного канала) и рабочей части (в пределах которого от него отходят распределительные каналы);

- проводящие межхозяйственные распределительные каналы, распределяющие воду между хозяйствами – водопользователями на системе и внутрихозяйственные, распределяющие воду в пределах одного хозяйства - водопользователя;

- регулирующая оросительная сеть внутри поливных участков, состоящая из временных, ежегодно устраиваемых оросителей, поливных борозд и полос, обеспечивающую распределение воды на полях и способствующую переводу её при поливе в почвенную влажность; регулирующая оросительная сеть может состоять из закрытых или передвижных дождевальными или поливными агрегатов, а при внутрипочвенном орошении – из проложенных в почве увлажнителей (трубок, кротовин);

- водоотводящая сеть:

- а) сбросная, служащая для удаления с орошаемых площадей излишней поверхностной воды, образующейся при опорожнении каналов, авариях или ливнях;

- б) дренажная сеть, устраиваемая на орошаемых землях с близким залеганием высокоминерализованных грунтовых вод;

- гидротехнические сооружения на проводящей сети и необходимая арматура на регулирующей, обеспечивающие регулирование и управление движением воды в оптимальном режиме.

На оросительных системах забор воды и её рациональное распределение включает: забор воды из источника орошения; транспортирование ее к орошаемой территории; распределение воды между водопользователями и участками (севооборотными, бригадными, поливными); превращение ее из

состояния водного тока в состояние почвенной влаги; отвод неиспользованных сбросных и минерализованных дренажно-коллекторных (промывных, грунтовых) вод с орошаемой территории. Планирование заключается в составлении планов-прогнозов забора воды из источника орошения, рационального распределения её между хозяйствами-водопользователями, внутри каждого хозяйства и в том числе на участках орошения.

На оросительных системах забор воды и её рациональное распределение включает: забор воды из источника орошения; транспортирование ее к орошаемой территории; распределение воды между водопользователями и участками (севооборотными, бригадными, поливными); превращение ее из состояния водного тока в состояние почвенной влаги; отвод неиспользованных сбросных и минерализованных дренажно-коллекторных (промывных, грунтовых) вод с орошаемой территории. Планирование заключается в составлении планов-прогнозов забора воды из источника орошения, рационального распределения её между хозяйствами-водопользователями, внутри каждого хозяйства и в том числе на участках орошения.

На осушительно-оросительных системах отвод воды с осушаемых сельскохозяйственных земель включает следующие операции: а) во влажные периоды – отвод из почвенного слоя и с поверхности земли избыточных грунтовых, почвенных и поверхностных вод; защита от поступления с прилегающей территории талых, дождевых и грунтовых вод; защита (полная или частичная) от затопления мелиорируемой территории паводковыми водами и пропуск паводка (половодья); б) в засушливые периоды – задержание оттока грунтовых вод с целью пополнения почвы влагой с помощью шлюзования и подачи недостающих объёмов воды для проведения поливов.

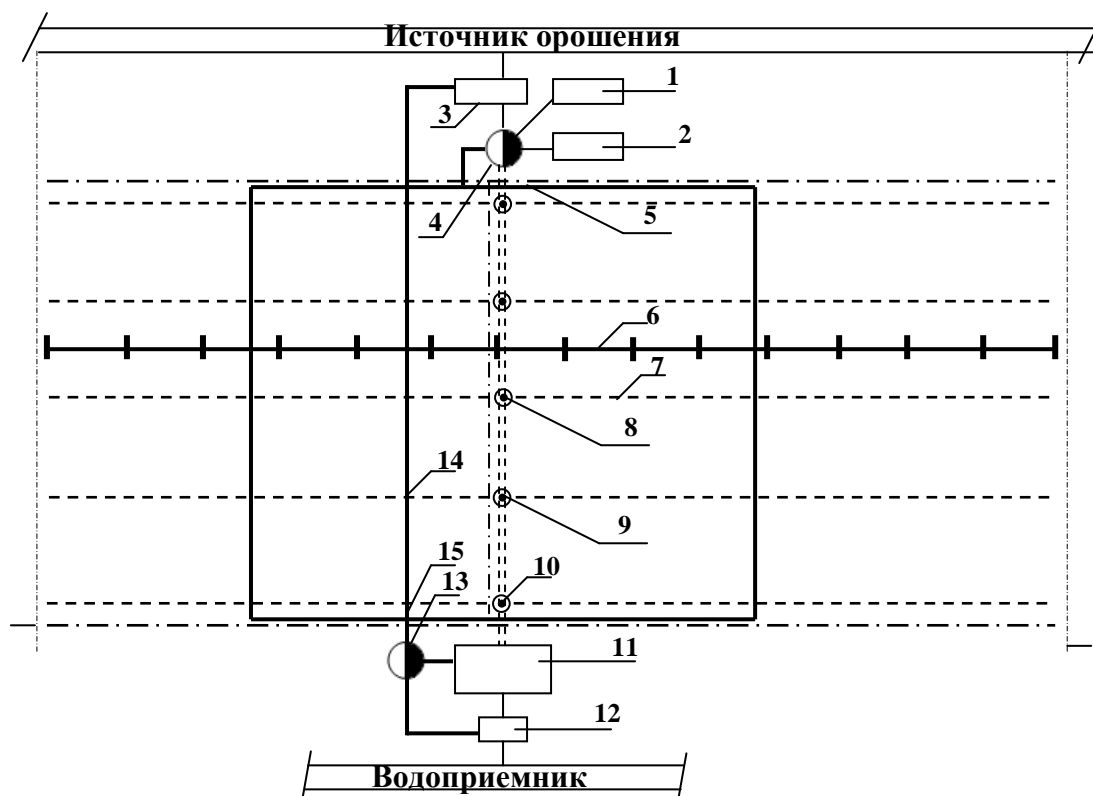


Рис. 1.1 - Типовая конструктивная схема гидромелиоративной системы

Пояснения к рисунку. Гидромелиоративная система включает центр управления 1, узел химизации 2 - для подачи удобрений, мелиорантов и пестицидов в оросительную воду, узел водоподготовки 3, водозаборную насосную станцию 4, закрытую оросительную сеть 5, поливную технику 6, дренажную сеть 7, коллектор 8 с колодцами-регуляторами 9 и обратными клапанами 10, подключенный к водозаборной насосной станции 4, проводящей воду в бассейн-накопитель II, из которого вода поступает в узел водоочистки 12, перекачивающую насосную станцию 13 с напорным трубопроводом 14, который соединен с оросительной сетью бассейном-накопителем и узлами водоподготовки 3 и водоочистки 12 посредством запорно-регулирующей арматуры 15

Основные показатели технического уровня гидромелиоративных систем должны быть те же, что действовали ранее:

- коэффициент земельного использования (КЗИ);
- протяженность оросительной сети (каналов, трубопроводов из разных труб) в расчете на орошаемый гектар;
- коэффициент полезного действия оросительной сети (КПД);
- коэффициент полезного использования воды (КИВ);
- установленная мощность силового оборудования насосных станций при механическом водоподъеме, кВт/га;
- напор насосных станций, включая подкачивающие;

- расход электроэнергии (удельный $\frac{\text{кВт.час}}{\text{га}}$) и топливно-смазочных материалов;
- капитальные вложения в строительство (реконструкцию) системы и приведенные затраты;
- эксплуатационные издержки, сезонная нагрузка на обслуживающий персонал.

Все они зависят от типа и вида системы и зональных особенностей района строительства (реконструкции). Как показано ниже, установленные критерии нуждаются в корректировке с учетом новейших достижений науки и техники в мелиорации, земледелии и связанных с ними отраслях. Кроме того, критерии нуждаются в дополнении новыми, ориентированными на минимизацию нежелательных воздействий мелиорации на окружающую среду.

Общим для всех оросительных систем показателем является коэффициент земельного использования (КЗИ), который определяют по формуле:

$$K_{з.и.} = \frac{F_n}{F_б},$$

где F_n , $F_б$ - орошаемая площадь соответственно нетто и брутто.

Площадь нетто составляют полезно используемые земли под посевами сельскохозяйственных культур, включая луга и пастбища; в площадь $F_б$ входят помимо F_n площади, занимаемые всеми видами отчуждений под мелиоративные сооружения (каналы, дороги и пр.). *Коэффициент земельного использования не должен быть менее 0,92...0,95*, что обеспечивается рациональным размещением и конструктивным оформлением оросительной системы.

Вторым требованием к оросительной системе является обеспечение рационального использования водных ресурсов, что характеризуется *коэффициентом полезного действия* (КПД) оросительных каналов (трубопроводов) при транспортировке воды и на системе в целом. Он рассчитывается по формуле:

$$\zeta = \frac{W_n}{W_6},$$

где W_n , W_6 - объем воды, соответственно поданной на поле и забранной из водоисточника. Коэффициент полезного действия в условиях рационального использования вод для магистральных каналов (подводящей сети и хозяйственных распределителей равен 0,8...0,9, для внутривозделанных распределителей) 0,85...0,95, для временных оросителей 0,90...0,95, для трубопроводной сети 0,95...0,98. Коэффициент полезного действия оросительной сети (без учета потерь воды на поле) равен произведению этих коэффициентов, т.е. практически в лучшем случае он редко превышает 0,60...0,84.

С учетом потерь воды на просачивание вглубь (ниже корнеобитаемого слоя) и испарение *коэффициент полезного использования воды* (КИВ) не превышает 0,6...0,8. Эти примерные значения являются исходными требованиями к проекту. Обеспечение и повышение его достигается соответствующими инженерными мероприятиями (противофильтрационные одежды, трубопроводы и пр.).

Большие возможности имеются в сокращении W_n путем строгого соблюдения научно обоснованных норм дифференцированных поливов, борьбы с потерями воды на фильтрацию и т.д. Эти критерии нуждаются в зональной отработке с учетом техники полива и др. показателей.

Коэффициент полезного использования оросительной воды K_n определяется как отношение объема полезно использованной воды на устранение дефицита влаги в почве при выращивании сельскохозяйственных культур (W_n) к объему забираемой воды из источника (W_6) с учетом повторно (возвратно, вторично) используемой воды ($W_в$):

$$K_n = \frac{W_n}{W_6 - K_в}.$$

Этот коэффициент зависит в значительной мере от технологии орошения, правильности обоснования и соблюдения режима орошения (нормы,

сроки полива), своевременности проведения агротехнических работ и т.д. Минимальные его значения для основных зон применения орошения должны установлены при подключении к настоящей теме зональных научных организаций.

Эффективность использования водных ресурсов на мелиоративных системах(объектах) непосредственно на орошаемом участке определяется по следующей зависимости:

$$Ef = 100 W_s / W_d$$

где: W_s = объём воды, накопленный в зоне корнеобитания культуры после орошения; W_d = объём воды, поданный на участок в процессе орошения.

Разность между объёмом поливной воды, накопленным в зоне корнеобитания (W_s), и объёмом поливной воды, поданным на участок в процессе орошения (W_d), есть потери поливной воды на глубинное просачивание, сток и испарение. Более детально, величина полевой эффективности учитывает все виды потерь поливной воды, например, испарение с открытой поверхности каналов, или поливных борозд, просачивание и протекание из оросителей систем дождевания, или капельного орошения, просачивание ниже зоны корнеобитания, снос ветром дождя из дождевальных аппаратов, испарение с поверхности капель, летящих в воздухе, или сток с участка

Энергетическая мощность гидромелиоративных систем при орошении дождеванием определяется расходом и напором, создаваемым насосной станцией. Затраты мощности насосной станции определяются следующей зависимостью:

$$N_0 = N_h + N_L + N_i + \sum_{i=1}^n N_s + N_w,$$

где N_0 – мощность насосной станции без учета коэффициента запаса, кВт;

N_h – затраты мощности на преодоление геодезической высоты от вод источника до самого удаленного или наиболее высокого расположенного гидранта оросительной сети, кВт;

N_L – затраты мощности в напорной оросительной сети, кВт;
 N_i – суммарные потери мощности в насосном оборудовании, кВт;
 N_s – мощность, необходимая для работы дождевальной техники, кВт;
 n – число одновременно работающих машин, шт.;
 N_w – затраты мощности на утечке воды из сети напорных трубопроводов, кВт.

Гидравлические затраты мощности при работе дождевальных оросительных систем [Лебедев Б.М., 1977 г., Исаев А.П., 1990 г.] могут быть определены по следующему алгоритму:

1. Затраты мощности на преодоление геодезической высоты от вод источника до конечного гидранта оросительной системы (кВт):

$$N_h = 0,001 * \rho * 9,8 * Q_0 (h_{0h} + h_{0L} + h_{0H}),$$

где ρ – плотность орошаемой воды, кг/см³;

Q_0 – расход насосной станции, м³/с;

h_{0h} – полная высота всасывания, м ;

h_{0L} – потери напора по длине всасывающего трубопровода, м;

h_{0H} – потери напора на местное сопротивление во всасывающем трубопроводе, м.

Определить расход электроэнергии на водоподъем и водоподачу, можно имея исходные данные по насосной станции:

- расчетный расход воды насосной станции Q (л/с);
- полный напор насосной станции H (м);
- КПД насосной установки η ;
- количество часов работы в сутки t (ч);
- количество суток работы в планируемом году T (сут) [1];
- количество насосных станций в области N (шт.)

Норма расхода электроэнергии на 1000 м³ воды определяется по формуле:

$$H_T^w = \frac{2,72 \cdot H}{\eta} \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{тыс. м}^3$$

Годовой расход электроэнергии в планируемом году:

$$W_{год} = \frac{Q \cdot HTt}{102 \cdot \eta} \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

Расход воды в планируемом году:

$$Q_{год} = Q \cdot 3,6Tt \text{ м}^3$$

2. Затраты мощности в закрытой оросительной сети, кВт

$$N_L = 0,001 * \rho * 9,8 * Q_0 (h_h + h_L + h_i),$$

где h_h – геодезическая высота подъема воды от насоса до диктующей точки оросительной сети, м;

h_L – потери напора по длине в напорных трубопроводах, м;

h_i – потери напора на местное сопротивление в напорном трубопроводе, м.

3. Суммарные потери мощности в насосном оборудовании, кВт

$$N_i = N_{iН} + N_{iЭ} + N_{iT},$$

где $N_{iН}$ – потери мощности в насосной станции, кВт;

$N_{iЭ}$ – потери мощности на передачу от электродвигателя к насосу, кВт;

N_{iT} – потери мощности в переходах от насоса к магистральному трубопроводу, кВт.

$$N_{iН} = \frac{0,001 * \rho * 9,8 * Q_0 * h_0 * (1 - \eta_{ср.})}{\eta_{НС}}$$

$$N_{iЭ} = \frac{0,001 * \rho * 9,8 * Q_0 * h_0 * (1 - \eta_{от})}{\eta_{НС}}$$

$$N_{iT} = 0,001 * \rho * 9,8 * Q_0 * h_{от},$$

где $\eta_{НС}$ – КПД насосной станции;

h_0 – полный напор насосной станции, м;

$\eta_{ср.}$ – усредненный КПД насосов;

$\eta_{от}$ – КПД передачи;

$h_{от}$ – потери напора в переходах, м.

4. Затраты мощности на утечке воды из сети напорных трубопроводов,

кВт

$$N_w = 0,001 * \rho * 9,8 * \Delta Q_w * h_0 ,$$

где ΔQ_w – потери воды на утечке и сбросы из напорных трубопроводов, м³/с.

Затраты мощности, необходимые для работы дождевальной машины зависят от типа дождевальной машины.

Функциональная структура комплексного взаимодействия в системе дождевальной машина - внешняя среда, показывает, что мощность, подводимая к напорному трубопроводу дождевальной машины, расходуется на работу дождевальных аппаратов, работу гидропровода, преодоление сил трения и местных сопротивлений по длине водопроводящего трубопровода машины, а также на утечки воды. В свою очередь, мощность, подводимая к дождевальным аппаратам, расходуется на преодоление сужений и поворотов а их конструкции, и придания им кинетической энергии (рис. 1.1).

5. Затраты мощности для работы дождевальных машин, кВт

$$N_{sp} = N_{sd} + N_{sc} + N_{sv} + N_{st} + N_{sw},$$

где N_{sp} – мощность, необходимая для работы дождевальной машины, кВт;

N_{sd} – мощность, необходимая для образования капель искусственного дождя, кВт;

N_{sc} – мощность, необходимая для создания зоны искусственного дождя, кВт;

N_{sv} – мощность, необходимая для гидропривода несущих тележек ДМ «Фрегат», кВт;

N_{st} – мощность, затрачиваемая на потери напора по длине водопровода ДМ, кВт;

N_{sw} – потери мощности от сброса и утечек воды из напорного трубопроводов ДМ, кВт.

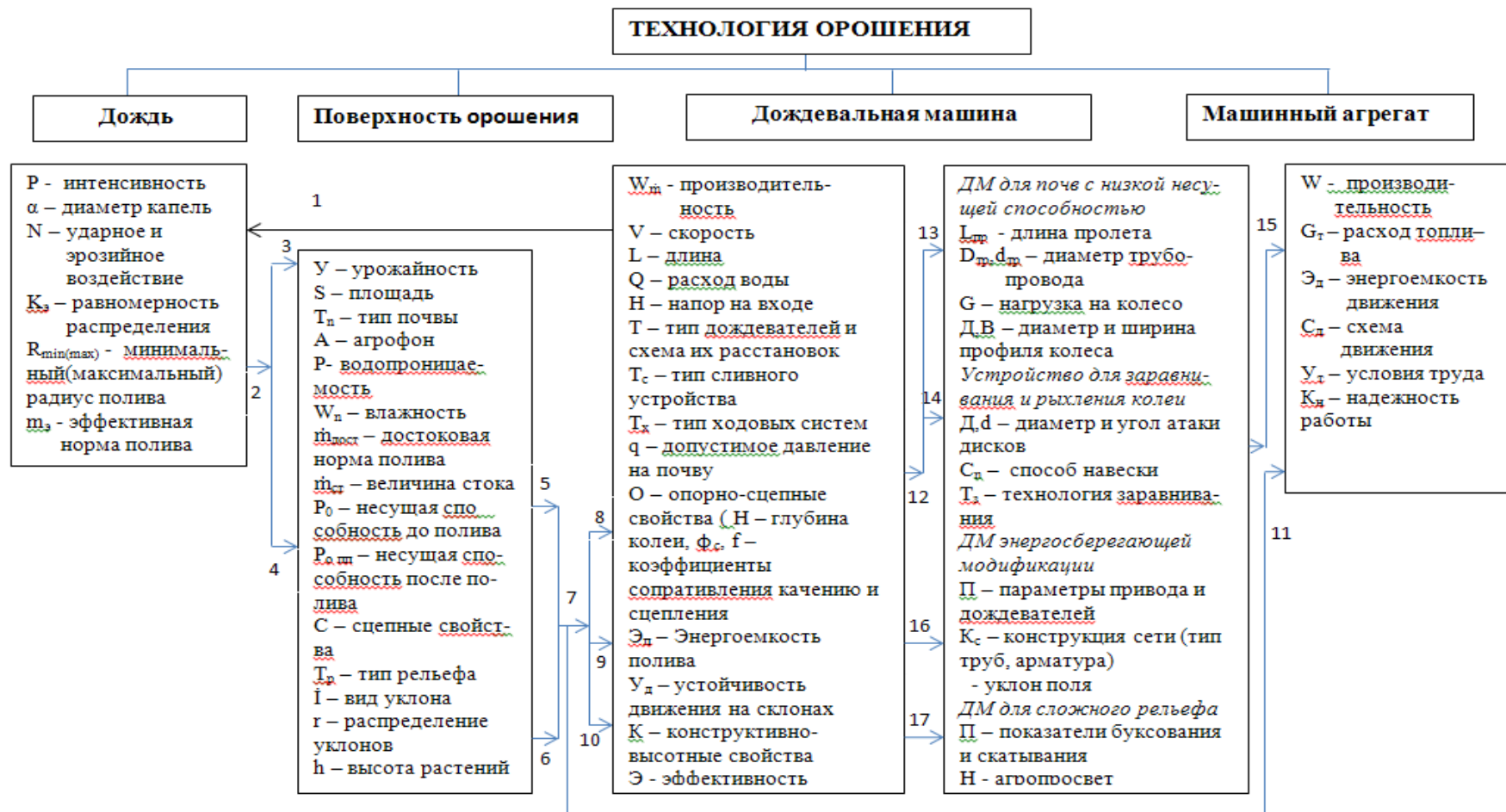


Рис. 1.2 - Функциональная схема взаимосвязей показателей системы

Затраты энергии на орошение конкретной сельскохозяйственной культуры ДМ «Фрегат» определяются следующей зависимостью:

$$a_s = \frac{0,0036 \cdot \rho \cdot Q_s \cdot h_s \cdot m_w \cdot T_{\min}}{m_{w_{\min}} \cdot \beta_i \cdot K_{if}},$$

где a_s – затраты энергии на орошение, кВтч;

m_w – требуемая норма полива, м³/га;

T_{\min} – минимальное время полного оборота машины, ч;

$m_{w_{\min}}$ – минимально возможная поливная норма для конкретной модификации машины, м³/га;

β_i – коэффициент, учитывающий потери оросительной воды на испарение при дождевании;

K_{if} – коэффициент, учитывающий потери оросительной воды на инфильтрацию и поверхностный сброс.

Используя это выражение можно определить затраты энергии на подачу воды 1 м³ воды.

Анализируя затраты энергии на дождевание, можно условно их разделить на производительные и вспомогательные. К необходимым (производительным) относятся: забор воды из источника и подача ее на поле. Не обязательными являются расходы энергии на создание напора для формирования капель, поднятия их на высоту и распыление при достаточно высоком напоре. При больших затратах энергии на эти операции возникают и побочные негативные явления, такие как испарение влаги с поверхности капель, достигающее до 30% от вылитого количества воды при температуре 30 °С и ветре в 5 м/с. При этом, чем мельче капли, тем больше испаряется влаги. С другой стороны требования к интенсивности дождевания, ограничиваемой водопроницаемостью почвы, и энергией капель дождя ведут к уменьшению диаметра капель дождя. Капли дождя, поданные из дождевального аппарата, кроме потерь своей массы, попадая на поверхность почвы гасят свою энергию, разбивая структурные комочки почвы, размельчая ее что способствует заилению

почвы (закрытию межкомковых пространств), снижению водопроницаемости, снижению досточковой нормы полива, снижению глубины промачивания, а следовательно снижению урожая. Кроме того, для распределения дождя по поверхности поля приходится постоянно перевозить до 10 тонн воды на установке в 17 тонн весом на тележках, которые движутся по политому полю 12 раз в круговую для выдачи $3000\text{ м}^3/\text{га}$, с поливной нормой $250\text{ м}^3/\text{га}$.

Для анализа и оценки технологий орошения сельскохозяйственных культур по энергоемкости поливов необходимо знать удельные энергетические характеристики, в том числе удельную энергоемкость орошения $N_{\text{ор}}$ ($\text{кВт}\cdot\text{ч}/1000\text{ м}^3$), мощность подаваемой и потребляемой энергии (гидравлической, тепловой, электрической) M (кВт) и удельные расходы энергии на полив $\mathcal{E}_{\text{п}}$ ($\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{га}$).

Энергоемкость орошения в расчете на 1000 м^3 поданной воды определяли по следующему уравнению:

$$N_{\text{ор}} = 2,72 (H/\eta_{\text{н}} + H_1/\eta_{\text{н1}}),$$

где: $N_{\text{ор}}$ – энергоемкость орошения, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/1000\text{ м}^3$; $\eta_{\text{н}}$ – КПД насосной станции ($\eta_{\text{н}} \approx 0,75$), $\eta_{\text{н1}}$ – КПД насосно-силового оборудования дождевальными и поливными машинами; H_1 – напор, развиваемый насосно-силовым оборудованием машин (м).

Если оцениваем энергоемкость технологии орошения модульного поливного участка, обслуживаемого конкретной поливной техникой, то энергоемкость можно оценить как:

$$N_{\text{ор}} = 2,72 (H_1/\eta_1)$$

При КПД насосно-силового оборудования поливными машинами составляет порядка 0,75, энергоемкость орошения можно рассчитать по формуле:

$$N_{\text{ор}} (\text{кВт}\cdot\text{ч}/1000\text{ м}^3) = 3,63 H,$$

где H – напор в системе (м)

Мощность гидравлической энергии на орошение, полив модульного участка вычисляем по формуле:

$$M (\text{кВт}) = 10^{-2} H (\text{м}) Q (\text{л}/\text{с}) / \eta,$$

где H – напор в м; Q – расход в л/с; η – КПД машины, поливной установки.

В данном случае мощность гидравлической энергии непосредственно на полив модуля, когда вода в поливную машину поступает от гидранта сети, то мощность можно определить по следующей формуле:

$$M(\text{кВт}) = 10^{-2} H Q$$

Удельный расход энергии на полив (Ээ (кВт.ч/га), определяем по следующему уравнению:

$$\text{Ээ} = M/P,$$

где P – производительность поливной техники, га/час и определяется по уравнению:

$$P(\text{га/ч}) = \frac{3,6Q(\text{л/с})}{\beta m(\text{м}^3/\text{га})} = \frac{3,6Q(\text{л/с})}{m(\text{м}^3/\text{га})}$$

$$(\text{нет испарения } \beta = 1) = \frac{4Q(\text{л/с})}{m(\text{м}^3/\text{га})} \quad (\text{испарение } 10\% \beta = 0,9),$$

где m – норма полива ($\text{м}^3/\text{га}$), β - коэффициент учитывающий испарение. В данном случае когда нет испарения $\beta = 1$, при 10 % испарении $\beta = 0,9$, или производительность поливной техники непосредственно берется из справочников [Штепа, 1990 г.].

В состав рекомендаций для оценки энергоэффективности включены следующие исходные показатели, которые даны в технико-эксплуатационных таблицах технических средств полива и которые входят в состав расчетных уравнений удельных показателей:

- площадь поливного модуля S , га;
- расход воды Q , л/с;
- производительность поливной техники P , га/ч;
- норма полива, m , $\text{м}^3/\text{га}$.

Для определения энерго-эффективности технологии полива для аридных, субаридных и гумидных зон и используемых машин, агрегатов и ком-

плектов дождевания, поверхностного способа полива рекомендован ряд зависимостей расчета удельных показателей.

В состав расчетных зависимостей входят следующие показатели:

- удельная материалоемкость, т/га;
- удельная капиталоемкость, руб./га;
- трудоемкость орошения в расчете на 1000 м³ поданной воды, чел.ч/1000 м³;
- энергоемкость орошения в расчете на 1000 м³ поданной воды, кВт.ч/га.

Причем энергоемкость подачи воды на поливной модуль зависит от используемой поливной техники, откуда происходит забор воды (от гидранта, с помощью насосно-силового оборудования и т.д.).

- гидравлическая мощность подачи воды в машину, кВт;
- удельный расход энергии на полив 1 га, кВт.ч/га.

На поливе насосно-силовым оборудованием может использоваться тепловая, электрическая и непосредственно от напорной сети гидравлическая энергия.

- производительность поливной техники, га/ч;

Её можно рассчитать по представленной зависимости или взять из справочников для конкретной поливной техники;

- удельные приведенные затраты в расчете на гектар орошаемой площади, руб./га;
- коэффициент земельного использования;
- коэффициент полезного действия;
- показатель надежности;
- показатель качества технологического процесса;
- коэффициент эффективного полива и другие показатели.

Режим орошения и нормы полива определяют технико-эксплуатационные характеристики дождевальных машин и в конечном счете энергоемкость подачи воды на поле, расход потребляемой техники. Поэтому

режим орошения сельскохозяйственных культур является основой рационального использования оросительной воды и сохранения качества и плодородия почвы в орошаемом земледелии. В общем виде сроки, нормы и частота поливов должны обеспечивать оптимальный для роста и развития растений водный режим в корнеобитаемом слое почвы. Разовая норма полива представляет собой объем воды на гектар орошаемой площади и измеряется в м³/га или мм слоя воды, зависит от водно-физических свойств почвы, степени ее иссушения к моменту полива, состояния агрофона, рельефа орошаемой поверхности, а также способа и технологии полива.

Расчетная поливная норма, соответствующая водоудерживающей способности почвы, определяется по зависимости:

$$m_{np} = W_{нв} - W_o = 10 \cdot \gamma \cdot h_{np} \cdot (\beta_{нв} - \beta_o),$$

где: $W_{нв}$ - запасы влаги в расчетном слое почвы, соответствующие НВ (наименьшей влагоемкости), мм;

W_o - допустимые или фактические предполивные запасы в том же слое почвы, мм;

γ - объемная масса почвы в расчетном слое, т/м³;

h_{np} - расчетная глубина промачивания почвы, м;

$\beta_{нв}$ - влажность почвы при НВ, % массы;

β_o - предполивная (допустимая) влажность почвы, % массы.

Расчетный слой h_{np} зависит от вида орошаемой культуры, состояния агрофона (фазы развития культуры и глубины распространения корневой системы), а также способа полива.

Наибольшую сложность при расчетах поливной нормы представляет определение допустимого (критического) порога иссушения почвы перед поливом. Критическую влажность почвы рекомендуется определять по схеме:

$$\beta_o = 0,5 \cdot (\beta_{нв} + \beta_з),$$

где: $\beta_з$ - влажность завядания, %.

Согласно справочной и нормативной литературе в качестве критической влажности рекомендуются ее следующие значения в долях от НВ:

для песчаных и супесчаных почв $\beta_o = (0,5-0,65) \beta_{нв}$;

для суглинистых почв $\beta_o = (0,65-0,75) \beta_{нв}$;

для глинистых почв $\beta_o = (0,75-0,85) \beta_{нв}$.

Для определения предполивных влагозапасов V_o (в долях от $W_{нв}$) применительно к тому или иному типу почвы (при известном значении $W_{нв}$) для метрового слоя нами рекомендуется использование следующего уравнения:

$$V_o = 0,36 + 1,48 \cdot 10^{(-3)} \cdot W_{нв} - 9,52 \cdot 10^{(-7)} \cdot W_{нв}^2,$$

При поливе дождеванием предельная поливная норма зависит не только от водоудерживающей способности почвы в диапазоне от W_o до $W_{нв}$, но главным образом от ее впитывающей способности с учетом рельефа и уклонов поверхности орошаемого поля, агрофона, интенсивности и структуры дождя. При этом реализуемая поливная норма не должна превышать предельную (эрозионно допустимую) норму, которая может быть установлена по зависимости:

$$m_\partial = \frac{K_v}{\sqrt{\rho_o} \cdot \ell^{0,5 \cdot d_k}}$$

где: m_∂ - досточная поливная норма, мм;

K_v - показатель свободного безнапорного впитывания воды в почву, мм;

ρ_o - средняя интенсивность дождя, свойственная данной дождевальной машине (установке), мм/мин;

d_k - средний диаметр капель дождевого облака, мм;

ℓ - основание натурального логарифма, равное 2,75.

Согласно Н.С. Ерхову для легкосуглинистых и супесчаных почв показатель K_v составляет 61...90 мм, для среднесуглинистых 31...60, а для тяжело-суглинистых 21...30 мм.

Знаменатель в формуле представляет собой энергетическую характери-

стику дождя $S = \sqrt{\rho_0} \cdot \ell^{0,5 \cdot dk}$, отображающую технико-эксплуатационные параметры конкретной дождевальнoй машины или установки (интенсивность и структуру дождя).

Применительно к конкретным почвенно-рельефным условиям достoкoвые поливные нормы должны корректироваться с учетом уклона поверхности орошаемого поля, фазы развития орошаемой культуры и состояния агрофона. При больших уклонах орошаемой поверхности ($J_{кр} \geq 0,01$) к показателю впитывания почвы K_v вводится поправочный коэффициент K_j

$$K_j = \exp[C \cdot (J_{кр} - J_i)],$$

где: C - параметр, близкий к числу 15.

Таблица 1.1 - Количественно поправочный коэффициент K_j при разных уклонах составляет:

Уклон, j	0,01	0,01...0,02	0,02...0,03	0,03...0,04
K_j	1,0	1,0...0,8	0,8...0,6	0,6...0,5

Поправочный коэффициент на состояние агрофона K_a в момент полива на примере пшеницы и кукурузы приводится в таблице 1.1.

С учетом поправочных коэффициентов K_j и K_a рекомендуемая для реализации технологическая поливная норма будет равна:

$$m_T = \frac{K_v \cdot K_j \cdot K_a}{S}$$

где: K_v - стандартный показатель свободного впитывания воды в почву, мм;

S - энергетическая характеристика дождевого облака, создаваемого конкретной машиной (установкой).

Таблица 1.2 - Поправочный коэффициент к достоковой поливной норме на состояние агрофона

Культура	Фаза развития	K_a
Пшеница	Всходы	1,0
	Кущение	1,1 ... 1,2
	Выход в трубку	1,2 ... 1,3
	Колошение	1,4
	Молочная спелость	1,5
Кукуруза	До появления 5-го листа	1,0
	Выметывание метелок	1,2 ... 1,5
	Образование початков	1,7 ... 1,9
	Созревание	1,9 ... 2,0

Стандартный показатель свободного впитывания воды в почву K_v представляет собой слой осадков, который может впитывать данная почва в естественном состоянии (открытая, безуклонная, без растительного покрова, после весеннего сева) без поверхностного стока при интенсивности дождя $\rho = 1$ мм/мин и крупности капель меньше 1 мм ($1 > dk > 0$). Как видно из таблицы 9, чем меньше интенсивность дождя и меньше средний диаметр капель, тем больше достоковая поливная норма. Максимальных значений достоковая поливная норма достигает при поливе мелкодисперсным дождем.

Так как при поливе дождеванием неизбежны потери оросительной воды непосредственно на поле, то при реализации эксплуатационных режимов орошения следует учитывать затраты воды на испарение в момент дождевания (испарение в воздухе, с листовой поверхности и поверхности почвы).

Для определения затрат воды на испарение при поливе дождеванием можно воспользоваться формулой Данильченко Н.В., которая имеет следующий вид:

$$\sigma = \frac{0,71 \cdot t \cdot \ell_a}{\ell_a} \cdot (1 + 0,21 \cdot U_2)$$

где: σ - потери воды на испарение при поливе дождеванием в % от водоподачи через дождевальные аппараты;

t - средняя температура воздуха за время полива, °С;

l_d - влажность воздуха за время полива, мб;

l_a - упругость насыщенного пара, соответствующая средней температуре воздуха за время полива, мб;

U_2 - скорость ветра на высоте 2 м от поверхности земли в момент полива, м/с.

Коэффициент, учитывающий потери воды на испарение при дождевании равен:

$$v = \frac{1 + \sigma}{100}$$

С учетом этого коэффициента рекомендуемая для полива технологическая норма будет равна:

$$m_{\phi} = m_r \cdot v$$

Если полив производить технологической нормой m_r без учета коэффициента v , то фактическая глубина промачивания будет меньше расчетной h_p , что повлечет за собой снижение уровня водообеспечения растений, а следовательно и недобор урожая орошаемой культуры.

В ходе проведения исследований были изучены и проведена оценка энергетической эффективности полива для девяти типов технологий и техники полива, в том числе: дождеванием и поверхностным способом полива по трем природно-климатическим зонам (аридной, степной и гумидной), дождевальным машинам, всего 9 типов (ДМУ-А "Фрегат", ДФ-120 "Днепр", ДКШ-64 "Волжанка", ДКГ "Ока", ДКН-80, ДДН-70, ДДН-100 и 2 для поверхностного полива – ТКП-90 и ТКУ-100) и 11 показателям (таблица 1.2- 1.11.).

Рассмотрено 40 технологий по 8 показателям энергоемкости водоподачи и расхода электроэнергии на полив, в т.ч. 4 технологии дождевания широкозахватными машинами кругового действия, 7 технологий дождевания фронтального действия, 5 технологий полива быстроразборными ирригационными комплектами, 8 технологий малоинтенсивного дождевания, 4 технологии полива садово-ягодных культур, 10 технологий поверхностного по-

лива по 1 технологии внутрпочвенного и капельного увлажнения (таблица 1.12).

1.2 Энергетическая эффективность региональных мелиоративных объектов в различных природных условиях

1.2.1 Полупустынная и степная природно-климатические зоны Саратовской области

Саратовская область расположена на юго-востоке Европейской территории Российской Федерации

По физико-географическому районированию Н.А. Гвоздецкого на территории области выделяются 3 природные зоны: **лесостепная, степная и полупустынная.**

Лесостепная зона занимает 18,5% площади области. В пределах зоны расположены две провинции, относящиеся к территории Саратовской области: Окско-Донская, занимающая 4% общей площади, и Приволжская – около 14,5% общей площади.

В первой из названных провинций рельеф плоскоравнинный, расчлененный долинно-балочной сетью. Климат континентальный с умеренно холодной зимой и теплым летом. Сумма температур воздуха выше 10° составляет 2400°-2700°. Летом часты засухи, в ряде зим повреждаются от 20 до 50% посевов зимующих культур. Почвы плодородные, преимущественно черноземы типичные тучные. Провинция чрезвычайно благоприятна для земледелия, агро-мелиоративные мероприятия должны быть направлены на повышение естественного плодородия почв, влагозадержание и развитие орошения, для чего здесь имеются все необходимые условия: реки и многочисленные пруды, подземные воды.

Вторая расположена на востоке Русской равнины, на правобережье Волги, занимает среднюю (лесостепную) часть Приволжской возвышенности. Рельеф типично эрозионный, наиболее развит в части, прилегающей к крутому и высокому берегу Волги. Для рельефа характерна ярусность, вдоль берега реки – оползни. Климат континентальный с умеренно холодной зимой

и теплым летом. Сумма температур воздуха выше 10° составляет 2400°-2700°. Континентальность климата, по сравнению с предыдущей провинцией, более значительна. Преобладают выщелоченные черноземы, к юго-западу появляются типичные тучные черноземы. Условия для земледелия благоприятны. Частая повторяемость засух и интенсивная эрозия почв требуют проведения системы агромелиоративных мероприятий: орошения, лесомелиораций. Источники водоснабжения – реки, пруды и подземные воды.

Степная зона занимает 80% площади области. В пределах зоны расположено 4 провинции: *Хопер-Медведицкая* (8% площади области); *Южно-Приволжская* (19% площади области); *Самаро-Иргизская* (14% площади области); *Волго-Узенская* (38% площади области).

Хопер-Медведицкая провинция на правом берегу Волги представляет собой часть Окско-Донской низменности с плоскоравнинным рельефом неглубокого расчленения. Климат континентальный. Сумма температур воздуха выше 10° составляет 2700°-3000°. Почвы – черноземы обыкновенные и черноземы южные, полностью распаханное. Требуются агротехнические и мелиоративные мероприятия для орошения.

Южно-Приволжская провинция на правом берегу р. Волги, часть южной оконечности Приволжской возвышенности. Рельеф эрозионный, климат средне континентальный, сумма температур воздуха выше 10° составляет 2800°-3200°. Почвы - обыкновенные и южные черноземы и темно-каштановые с пятнами солонцов. Степи распаханые. Актуальны проблемы орошения и борьбы с эрозией.

Самаро-Иргизская провинция располагается вдоль левого берега р. Волги, представляет собой низменность. Насчитывается 4 надпойменные террасы Волги (10-12, 20-30, 35-40, 50-70м), четвертая плавно переходит в сырцовую поверхность левого коренного берега. Террасы имеют плоский рельеф, слабо расчлененный, с широким развитием эоловых форм. Равнина левого коренного берега имеет волнисто-увалистую поверхность, местами с

террасовидными уступами, довольно густо расчлененную долинно-балочной сетью. Максимальная глубина долин 60-80м.

Климат провинции средне континентальный: зима короткая, умеренно холодная и умеренно снежная, весна засушливая короткая, лето длинное теплое сухое, осень засушливая. Сумма температур воздуха выше 10° составляет 2400°-2600°. Нередко наблюдаются засухи, суховеи. Почвы – обыкновенные черноземы, глинистые и тяжелосуглинистые, средней мощности, а также южные черноземы средне и маломощные глинистые и тяжелосуглинистые. Орошение необходимо повсеместно.

Волго-Узенская провинция лесостепной зоны расположена в южной части Низкого Заволжья. Здесь также 4 террасы р. Волги, переходящие на востоке в эрозионно расчлененную увалистую поверхность Сыртового Заволжья. Климат континентальный с умеренно холодной короткой зимой, засушливым продолжительным летом. Сумма температур воздуха выше 10° составляет 2600°-2800°. В почвенном покрове преобладают темно-каштановые и каштановые почвы, нередко солонцеватые, а также солонцы. Развитие орошаемого земледелия перспективно, но с учетом засоленности почв и солонцеватости.

Полупустынная зона занимает 1,5% площади области и представлена *Волго-Уральской* провинцией, расположенной в северной части Прикаспия, между р. Волгой и р. Уралом. Рельеф заметно связан с тектоническими структурами и выражен чередованием равнин с неглубокими впадинами, к которым приурочены бессточные котловины. Климат резко континентальный. Сумма температур воздуха выше 10° составляет 2800°-3000°. Преобладающие почвы светло-каштановые солонцеватые и солонцы тяжелого мехсостава, образующие мозаичную картину распределения в зависимости от микроформ рельефа. Орошаемое земледелие возможно в сочетании с дренажом и химмелиорацией.

При составлении проектного или эксплуатационного поливного режима соответственно реальным условиям его применения установленные (реко-

мендуемые) поливные нормы на должны превышать достокую норму, соответствующую впитывающей способности почвы и параметрам дождя.

Зависимость достокowej поливной нормы от водопроницаемости почвы и энергетических параметров дождя для зональных почв Саратовской области и дождевальными машин с интенсивностью дождя в пределах от 0,2 до 1,0 мм в минуту и диаметра капель от 1,0 до 3,0 мм представлена в таблице 6.4.:

Таблица 1.3 - Достокowej (эрозионно-допустимая) поливная норма нетто (тд, м³/га) для различных типов почв Саратовской области

Средний диаметр капли dk , мм	Интенсивность дождя ρ , мм\мин								
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	Почвы слабой водопроницаемости ($Kv \leq 0,30$)								
1	410	330	290	260	230	220	200	190	180
1,5	320	260	220	200	180	170	160	150	140
2	250	200	170	160	140	130	120	120	110
2,5	190	160	140	120	110	100	100	90	90
3	150	120	100	90	80	70	70	60	60
Почвы слабой водопроницаемости ($Kv=0,60$)									
1	810	660	580	510	470	430	410	380	360
1,5	630	520	450	400	370	340	320	300	290
2	490	400	350	310	280	260	250	230	220
2,5	390	310	280	250	220	210	190	180	170
3	310	250	210	190	170	160	150	140	130
Почвы сильной водопроницаемости ($Kv=0,90$)									
1	1220	1000	860	770	700	650	610	580	550
1,5	950	780	670	600	550	510	470	450	430
2	740	640	520	470	430	400	370	350	330
2,5	580	470	410	370	330	300	290	280	260
3	450	360	320	300	270	240	220	210	200

Как видно из таблицы, чем меньше интенсивность дождя и мельче капли, тем больше достокowej поливная норма. Максимальных значений для всех типов почв норма полива достигает при минимальных ρ и dk .

Достокowej поливные нормы, рассчитанные по формуле 5.4, являются средне статистическими и обязательно подлежат корректировке с учетом конкретных значений уклона поверхности орошаемого участка, состояния агрофона (фазы развития орошаемой культуры и проективного покрытия почвы растительным покровом). При уклоне орошаемой поверхности больше

0,01 вводится поправка K_i , понижающая расчетную достокую поливную норму.

Количественно эта поправка может быть (согласно предложению Ерхова Н.С.) вычислена по зависимости:

$$K_i = \exp[C \times (J_{кр} - J_i)],$$

где: C - параметр, близкий к числу 15.

Для уклонов поверхности от 0,01 и меньше до 0,04 поправка K_i имеет следующие количественные значения:

Уклон J	< 0,01	0,01-0,02	0,02-0,03	0,03-0,04
K_i	1,0	1,0-0,8	0,8-0,6	0,6-0,5

Кроме уклона поверхности, существенное влияние на размер достокую поливной нормы оказывает агрофон. Влияние агрофона на примере кукурузы и пшеницы приводится в таблице 1.4.

Таблица 1.4 - Поправочный коэффициент к достокую поливной норме на состояние агрофона K_a

Культура	Фаза развития	K_a
Пшеница	Всходы	1,0
	Кущение	1,1 ... 1,2
	Выход в трубку	1,2 ... 1,3
	Колошение	1,3...1,4
	Молочная спелость	1,4...1,5
Кукуруза	До появления 5-го листа	1,0
	Выметывание метелок	1,2 ... 1,5
	Образование початков	1,7 ... 1,9
	Созревание	1,9 ... 2,0

При большой разнице между достокую и максимальной поливной нормой m_d и m_{max} режим орошения и технология полива должны приближаться к применению поливных норм близких к m_d . Реализация этого требования на слабоводопроницаемых почвах и максимальной степени будут соответствовать защите почвы от эрозии и сохранению ее плодородия. На легких почвах, когда достокую поливная норма существенно превышает норму, соответствующую m_{max} , поливной режим должен формироваться с учетом приближения поливных норм к m_{max} , что позволит реализовать расчет-

ный режим орошения с минимальными трудовыми и эксплуатационными издержками.

Способ и технология полива сельскохозяйственных культур дождеванием, помимо восполнения почвенных влагозапасов в корнеобитаемом слое почвы, предполагает некоторые дополнительные затраты воды на испарение в момент полива, которые необходимо учитывать при планировании и реализации водопользования.

Экологически безопасные поливные нормы, соответствующие перечисленным выше требованиям, для зональных почв Саратовской области приведены в таблице 1.5. Как видно из этой таблицы, минимальные значения разовых поливных норм соответствуют почвам слабой водопроницаемости и начальным фазам развития растений. Эту закономерность необходимо учитывать при практической реализации режимов орошения.

Именно реализуемые режимы орошения и технологии полива, а не оросительные нормы, в наибольшей мере воздействуют на мелиоративное и экологическое состояние орошаемых земель и в этой связи требуют особого к себе внимания, как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации оросительных систем.

Таблица 1.5 - Экологически безопасные (технологические) поливные нормы нетто зерно-кормовых культур типов почв и агроклиматических зон Саратовской области

Водопроницаемость почвы, K_v	Зерновые колосовые		Люцерна (на сено)		Капуста поздняя	
	всходы - кущение	колошение восковая спелость	начало от-растания	бутонизация, цветение	посадка рассады	образова-ние кочана
Лесостепная зона $K_y > 0,51$						
Повышенная $K_v=0,61-0,90$	300-400	450-500	400-450	500-550	300-400	450-500
Средняя $K_v=0,31-0,60$	300-350	400-450	350-400	450-550	300-350	400-450
Слабая $K_v \leq 0,30$	250-300	350-400	300-350	400-450	200-300	350-400
Степная зона $K_y = 0,31 \dots 0,50$						
Повышенная $K_v=0,61-0,90$	350-400	500-550	400-500	500-600	350-400	500-550
Средняя $K_v=0,31-0,60$	300-400	400-500	350-400	500-600	350-400	450-550

Слабая Kv≤0.30	300-350	400-450	350-400	400-500	300-350	400-500
Полупустынная зона ≤ 0,30						
Повышенная Kv=0,61-0,90	400-450	500-600	450-500	500-600	400-450	500-600
Средняя Kv=0,31-0,60	350-400	450-550	400-450	500-600	350-400	450-550
Слабая Kv≤0.30	300-350	400-500	350-400	450-500	300-350	400-500

Таблица 1.6 - Внутрисезонное распределение оросительной нормы нетто зерно-кормовых культур в % по природным зонам Саратовской области в разные по влажности (обеспеченности) годы

№ п/п	Природная зона	Расчетный год	Период вегетации культуры						
			IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV-IX
Люцерна на сено									
1.	Сухостепная Ку<0,30	Средний	0	15	26	27	23	9	100
		Среднесухой	0	17	25	26	22	10	100
		Сухой	2	17	23	25	21	12	100
2.	Степная Ку=0,31-0,50	Средний	0	14	25	27	24	10	100
		Среднесухой	0	15	24	26	24	11	100
		Сухой	0	16	24	25	23	12	100
3.	Лесостепная Ку=0,51-0,80	Средний	0	9	29	30	22	10	100
		Среднесухой	0	11	28	29	22	10	100
		Сухой	0	13	27	28	21	11	100
Кукуруза на силос									
1.	Полупустынная Ку<0,30	Средний	0	13	33	39	15	0	100
		Среднесухой	0	15	33	39	13	0	100
		Сухой	0	17	33	40	10	0	100
2.	Степная Ку=0,31-0,50	Средний	0	10	34	38	18	0	100
		Среднесухой	0	12	34	38	16	0	100
		Сухой	0	15	32	39	14	0	100
3.	Лесостепная Ку=0,51-0,80	Средний	0	8	35	37	20	0	100
		Среднесухой	0	10	34	37	19	0	100
		Сухой	0	12	34	36	18	0	100
Озимая пшеница									
1.	Полупустынная Ку<0,30	Средний	0	23	56	21	-	-	100
		Среднесухой	0	26	55	19	-	-	100
		Сухой	0	30	54	16	-	-	100
2.	Степная Ку=0,31-0,50	Средний	0	20	55	25	-	-	100
		Среднесухой	0	22	54	24	-	-	100
		Сухой	0	30	50	20	-	-	100
3.	Лесостепная Ку=0,51-0,80	Средний	0	19	50	31	-	-	100
		Среднесухой	0	22	49	29	-	-	100
		Сухой	0	28	47	25	-	-	100

Таблица 1.7 - Внутрисезонное распределение оросительной нормы озимой пшеницы, кукурузы на силос и люцерны в степной зоне в разные по влажности годы в % и м³/га

№ п/п	Культура	Расчетный год Р, %	Оросительная норма м ³ /га	Внутрисезонное распределение оросительной нормы в % и м ³ /га					
				V	VI	VII	VIII	IX	за вегетацию
1.	Озимая пшеница	Средний, Р50%	1500	<u>20</u> 300	<u>55</u> 825	<u>25</u> 375	-	-	<u>100%</u> 1500
		Среднесухой Р75%	1900	<u>22</u> 420	<u>54</u> 1030	<u>24</u> 450	-	-	<u>100%</u> 1900
		Сухой, Р95%	2500	<u>30</u> 750	<u>50</u> 1250	<u>20</u> 500	-	-	<u>100%</u> 2500
2.	Кукуруза на силос	Средний, Р50%	2100	<u>10</u> 210	<u>34</u> 715	<u>38</u> 795	<u>18</u> 380	-	<u>100%</u> 2100
		Среднесухой Р75%	2700	<u>12</u> 325	<u>34</u> 920	<u>38</u> 1020	<u>16</u> 435	-	<u>100%</u> 2700
		Сухой, Р95%	3500	<u>15</u> 520	<u>32</u> 1120	<u>39</u> 1370	<u>14</u> 490	-	<u>100%</u> 3500
	Люцерна на сено	Средний, Р50%	3100	<u>14</u> 435	<u>25</u> 775	<u>27</u> 835	<u>24</u> 745	<u>10</u> 310	<u>100%</u> 3100
		Среднесухой Р75%	4500	<u>15</u> 670	<u>24</u> 1080	<u>26</u> 1140	<u>24</u> 1080	<u>11</u> 490	<u>100%</u> 4500
		Сухой, Р95%	5400	<u>16</u> 860	<u>24</u> 1300	<u>25</u> 1350	<u>23</u> 1240	<u>12</u> 650	<u>100%</u> 5400

1.2.2 Лесостепная и лесная природно-климатические зоны. Нечерноземный район Центрального ФО

Климат на всей территории Центрального нечерноземного района умеренно континентальный с увеличением средних многолетних сумм температур воздуха выше 10° (активных температур) от 1600-2000° в двух первых провинциях и до 2200-2300° - на юге и юго-востоке района.

По степени увлаженности климат меняется от влажного до умеренно влажного (Мещерская низина) и менее влажного в Приокской провинции. На юге и юго-востоке района, при переходе к лесостепной зоне, нарушается соразмерность тепла и влаги, наблюдается неустойчивость увлажнения по годам и внутри теплого периода. Средние многолетние суммы осадков за период с температурой воздуха выше 10° составляют немногим более 300мм на севере и 260-280мм - на юге района; за период с температурой воздуха выше 5° суммы осадков уменьшаются с севера на юг от 380мм до 330мм соответ-

ственно и составляют 70% годовой суммы. Неравномерное выпадение атмосферных осадков в отдельные годы и периоды вегетации обуславливают необходимость в орошении, особенно в южных и юго-восточных областях региона.

Большую часть Нечерноземного района занимает лесная зона, к юго-востоку переходящая в лесостепную.

В целом район находится в зоне достаточных тепловых ресурсов для выращивания зерновых колосовых, кормовых и овощных культур. По влагообеспеченности в направлении к северу, северо-западу и западу от изолинии $K_y > 1,10$ район относится к зоне достаточного и избыточного увлажнения. К югу и юго-востоку от этой изолинии простирается территория, на которой сельское хозяйство ведется попеременно: то на богарном земледелии, то на орошении. В засушливые и сухие годы поддержание рационального уровня увлажненности особенно в южных и юго-восточных областях, возможно только при восполнении почвенных влагозапасов посредством орошения. Эффективность орошения подтверждается многолетней практикой сельскохозяйственного производства в областях Центрального района. Главная задача при этом состоит в научном обосновании оросительных и поливных норм, режимов и технологии орошения возделываемых культур, с учетом подпитывания из грунтовых вод.

Таблица 1.8 - Оросительные нормы нетто (мм) кормовых и овощных культур в разные по влажности (обеспеченности) годы на территории Нечерноземного района ЦФО РФ

Зона природного увлажнения (по K_y)	Орошаемые культуры	Оросительные нормы нетто (дефициты водопотребления) в различные по влажности (обеспеченности Р%) годы.			
		25%	50%	75%	95%
Оросительные нормы по зонам увлажнения.					
0,81-0,90	Люцерна на сено	40	90	150	240
	Кукуруза (на силос)	30	70	130	190
	Капуста (поздняя)	60	110	165	245
	Картофель поздний	40	85	130	170
	Овощи: лук, морковь	50	110	155	200
0,91-1,00	Люцерна на сено	25	65	120	200

	Кукуруза (на силос)	20	50	100	165
	Капуста (поздняя)	40	85	135	210
	Картофель поздний	30	65	105	150
	Овощи: лук, морковь	40	80	125	175
1,01-1,10	Люцерна на сено	10	45	90	165
	Кукуруза (на силос)	10	35	80	140
	Капуста (поздняя)	25	60	110	180
	Картофель поздний	25	40	75	115
	Овощи: лук, морковь	30	60	95	140
1,11-1,20	Люцерна на сено	5	30	65	135
	Кукуруза (на силос)	5	25	60	115
	Капуста (поздняя)	20	45	85	150
	Картофель поздний	20	40	75	115
	Овощи: лук, морковь	30	50	85	135
>1,20	Люцерна на сено	0	15	45	100
	Кукуруза (на силос)	0	15	40	90
	Капуста (поздняя)	10	30	65	125
	Картофель поздний	10	25	50	95
	Овощи: лук, морковь	10	30	65	105

Таблица 1.9 - Внутрисезонное распределение оросительной нормы кормовых и овощных культур в разные по влажности (обеспеченности) годы по природным зонам Нечерноземного района ЦФО

Культура	Влажность года, дефицит обеспеченности, Р %	Единица измерения в м ³ /га и в % от Σ сез.	Распределение оросительной нормы в м ³ /га и в % от Σсез. по месяцам вегетационного периода					Сумма за сезон, м ³ /га и %
			V	VI	VII	VIII	IX	
<i>Ky = 0,81-1,00</i>								
Люцерна на сено	Среднесухой 75 %	м ³ /га %	- -	560 45	320 25	250 20	120 10	1250 100
	Сухой 95 %	м ³ /га %	210 10	730 35	530 25	420 20	210 10	2100 100
Кукуруза на силос	Среднесухой 75 %	м ³ /га %	- -	480 45	310 30	260 25	- -	1050 100
	Сухой 95 %	м ³ /га %	85 5	505 30	680 40	420 25	- -	1690 100
Капуста поздняя	Среднесухой 75%	м ³ /га %	- -	490 35	490 35	280 20	140 10	1400 100
	Сухой 95 %	м ³ /га %	210 10	735 35	735 35	315 15	105 5	2100 100
<i>Ky = 1,01- 1,20</i>								
Люцерна на сено	Среднесухой 75%	м ³ /га %	- -	370 45	245 30	205 25	- -	820 100
	Сухой 95 %	м ³ /га %	80 5	465 30	465 30	385 25	155 10	1550 100

Кукуруза на силос	Среднесухой 75%	м ³ /га %	- -	270 40	240 35	170 25	- -	680 100
	Сухой 95 %	м ³ /га %	135 10	530 40	400 30	265 20	- -	1330 100
Капуста поздняя	Среднесухой 75%	м ³ /га %	100 10	390 40	395 35	145 15	- -	980 100
	Сухой 95 %	м ³ /га %	470 10	670 40	590 35	250 15	- -	1680 100

Таблица 1.10 - Энергоёмкость орошения и энергетические эквиваленты дождевальных машин

Марка машины	Энергоёмкость орошения при М=3000 м ³ /га МДж/га	Производительность за 1 ч эксплуатационного времени, (м ³)	Энергетический эквивалент, (МДж/ч.)
ДКШ-64-800	1602,0	114	227,6
ДФ-120	1791,0	250	560,7
ДДА-100 МА	497,9	235	146,4
ДДН-70	216,3	105	28,3
«Кубань»	2136,0	560	1495,5
«Фрегат»	2072,4	243	630,0

Таблица 1.11 - Техничко-экономические показатели технологий орошения

Показатель	Способ полива				
	Поверхностный		Дождевание		
	Напуском по обычным полосам	Система автоматизированного полива по трубопроводам	ДДН-70	ДДА-100МА	«Фрегат»
Оросит. норма, м ³ /га	3600	3600	3600	3600	3600
Поливная норма, м ³ /га	900	900	400	400	400
Число поливов	4	4	9	9	9
Упр. поливным током 1 поливальщиком, л/с	50	300	70	50	200

Сменная норма, при поливной норме в 900 м ³ /га, на 1 поливальщика	1,40 1,40	8,40 8,40	1,20 1,20	1,76 0,88	1,98 3,96
Стоимость полива 1 га многолетних трав в течении оросительного периода, руб.	22,96	3,84	103,59	86,76	14,85
То же - % по отношению к ДДН-70	22,20	3,70	100,00	83,80	14,30
Затраты времени на полив 1 га мног. трав в течении оросит. периода, (час)	20,00	3,33	23,33	31,90	7,08
То же %	85,70	14,30	100,00	136,70	30,30
Кап. вложения в строительство внутрихозяйственной сети, (тыс. руб).	1,0-1,5	1,0-2,0	1,0-1,5	1,0-2,0	

Таблица 1.12 - Удельные энергозатраты на водораспределение (при поливной норме 500 м³/га)

Тип техники полива	Производительность за 1 час		Мощность установки	Удельная энергоёмкость	Производительность за сезон при М=3000 м ³ /га	Удельная металлоёмкость
	га	м ³				
ДДА-100МА Q = 120 л/с H = 37 м	0,585	468	48,1	0,360	141	59
ДФ-120 Q = 130 л/с H = 55 м	0,540	432	66,0	0,530	150	111
ДМ «Фрегат» Q = 102 л/с H = 73 м	0,458	367	70,0	0,73	146	210
ДМ «Фрегат» низконапорный Q = 61,3 л/с H = 38,5 м	0,276	221	23,5	0,39	146	210

ДШК-64 Q = 57 л/с H = 38 м	0,256	205	21,7	0,38	68	52
КИ-50 Q = 47 л/с H = 45 м	0,210	169	21,1	0,45	31	175
ДМ «Кубань» Q = 200 л/с H = 38 м	0,900	720	76,0	0,372	280	205
ДШ-25/300 Q = 25 л/с H = 50 м	0,112	90	12,5	0,49	30	40
ППА-165 Q = 200 л/с H = 4,5 м	0,900	720	9,0	0,044	120	9,8
Полив по бороздам вручную Q = 40 л/с H = 0	0,188	150	-	-	50	
Полив по полосам ППА-300Q = 300 л/с H = 8 м	1,35	1080	2,4	0,078	300	14,1
Шланго-барабанные машины Q = 57 л/с H = 110 м	0,256	205	62,7	1,08	-	

Таблица 1.13 - Трудовые и материально технические затраты при эксплуатации дождевальных систем (по материалам FAO. Arrig. And Drain. Paper. - Rome, 1982, № 35)

Вид поливной техники	Относительные затраты средств	Относительные затраты труда
Дождевальные шлейфы	1,5	0,40
Колесные трубопроводы	1,9	0,40
Многоопорные дождевальные машины, работающие позиционно	2,0	0,35
Машины с вращающейся фермой	1,2	0,75
Шланго-барабанные дождевальные машины	1,7	0,30
Многоопорные дождевальные машины с поливом в движении по кругу	1,8	0,15
Фронтальные многоопорные дождевальные машины с поливом в движении	2,0	0,125
Стационарные и стационарно-сезонные оросительные системы	5,0	0,20
Поверхностный полив по обвалованным чекам	0,76	-

Таблица 1.14 - Технико-экономическая характеристика основных систем орошения, применяемых в США

Оросительные системы	Затраты труда, чел.ч на 1 га орошаемой площади	Капитальные затраты, \$/га
Поверхностные:		
по полосам	0,5-2,5	300-990
по бороздам	1,0-3,0	395-1235
по мелким бороздам	1,0-3,0	250-495
Затоплением безуклонных чеков	0,25-1,25	495-1235
Дождеванием:		
стационарные		
разборные	0,5-1,25	990-2965
неразборные	0,12-0,25	990-2965
передвижные		
переносимые вручную	1,25-3,7	250-740
буксируемые	0,5-1,25	445-865
колесные фронтальные	0,5-1,7	445-865
полив в движении		
самоходные	0,5-1,7	495-990
по кругу	0,12-0,35	495-990
фронтального действия	0,12-0,35	740-1235
Микродозами:		
капельное, внутрпочвенное, струйное, мелкодисперсное	0,35	620-2470

Таблица 1.15 - Техническая оценка технологии полива

№ № пп	Наименование показателя	Зона орошения	Дождевание							Поверхностный полив	
			ДМУ-А "Фрегат"	ДФ-120 "Днепр"	ДКШ-64 "Волжанка"	ДКГ-64 "Ока"	ДКН-80	ДДН-70	ДДН-100	Трубопровод ТКП-90	Трубопровод ТКУ-100
1.	Удельная материалоемкость, т/га	1	-	1,17-1,31	0,768-1,32	0,703-0,805	0,68-0,98	-	-	0,67-0,94	1
		2	0,49	1,12-1,21	0,652-1,267	0,758-0,77	0,65-0,95	4,22-4,38	4,05-4,34	0,65-0,92	0,98
		3	0,39-0,49	1,09-1,26	0,62-1,215	0,638-0,745	0,63-0,91	4,2-4,35	3,96-4,17	0,63-0,9	0,96
2.	Удельная капиталоемкость, руб/га	1	-	49600	34784	28240	33890	-	-	55720	30420
		2	30234	44400	33370	23630	30200	62230	53350	27580	
		3	28098	39600	273700	20360	27590	58750		23940	
3.	Трудоемкость, чел·ч/1000 м ³	1	-	0,7-0,91	2,53-6,74	2,02-2,7	2,19-2,92	-	-	1,75-2,02	2,15
		2	1,13	0,7-0,91	2,53-6,74	2,02-2,7	2,19-2,92	5,25	3,46	1,75-2,02	2,69
		3	1,33-1,47	0,7-0,91	2,53-6,74	2,02-2,7	2,19-2,92	5,25	3,46	1,75-2,02	3,66
4.	Энергоемкость подачи воды, кВт·ч/10 ³ м ³		117-183	163	106	173	122	189	170	54	41
5.	Расход энергии на полив кВт·ч/га		94 67	102,4	85	93	84	236	220	40	32,6
6.	Приведенные затраты, руб/га	1	-	15840	14840	12730	13310	-	-	10480	12298
		2	10075	12450	11840	8220	9435	17830	15340	8007	9131
		3	8516	10100	7790	6080	7381	14200	12470	6286	7148
7.	Коэффициент земельного использования	1	-	0,97	0,97	0,97	0,97	-	-	0,97	0,97
		2	0,84	0,97	0,97	0,97	0,97	0,95	0,95	0,97	0,97
		3	0,84	0,97	0,97	0,97	0,97	0,95	0,95	0,97	0,97
8.	Коэффициент полезного действия	1	-	0,98	0,98	0,98	0,98	-	-	0,91	0,91
		2	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,95	0,95	0,91	0,91
		3	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,95	0,95	0,91	0,91
9.	Показатель надежности	1	-	0,968	0,981-0,985	0,99-0,991	0,989-0,991	-	-	0,996	0,861
		2	0,987	0,967	0,981-0,985	0,989-0,99	0,989-0,991	0,918-0,92	0,952-0,954	0,996	0,861
		3	0,987	0,967	0,98-0,984	0,988-0,989	0,988-0,99	0,917-0,92	0,951-0,953	0,996	0,861
10.	Показатель качества технологического процесса	1	-	0,847	0,852	0,849	0,851	-	-	0,775	0,696
		2	0,895	0,881	0,884	0,881	0,888	0,864	0,864	0,835	0,788
		3	0,924	0,917	0,917	0,916	0,936	0,91	0,91	0,889	0,89
11.	Коэффициент эффективного полива		0,75	0,7	0,7	0,7	0,56	0,5	0,5	0,7	0,7

**Таблица 1.16 – Энергоемкость технологий орошения
модульных участков орошения**

№ № п/п	Технология полива техниче- скими сред- ствами	Давле- ние, м	Рас- ход во- ды, л/с	Нор- мы по- лива, м ³ /га	Произ- води- тель- ность техни- ки полива, га/ч	Пло- щадь, га	Мощ- ность, кВт	Энерго- емкость полива, кВт.ч/ 10 ⁻³ м ³	Удель- ное по- требле- ние энер- гии, кВт.ч/ га
Дождевание									
1. Полив широкозахватными машинами кругового действия									
1.1.	Полив ДМ "Фрегат" серийный	43-67	20- 100	600	0,44	40-72	41 (8,6- 67)	117-183	94
1.2.	Полив низ- конапорной ДМ "Фре- гат"	41	72	600	0,44	70	29,5	115	67
1.3.	Полив ДМ "Кубань- ЛК1" се- рийной	35-40	70	600	0,42	70	38	95-109	90,5
1.4.	Полив ДМ "Кубань- ЛК1" мо- дернизиро- ванный	25	70	600	0,42	70	27,5	68	65
2. Полив машинами фронтального действия									
2.1.	Полив ДМ "Кубань-Л" серийной	31	200	600	1,2	200	158	113	131
2.2.	Полив ДФ- 120 "Днепр"	45	120	600	0,71	160- 190	54 (18,7)	163	102,4
2.3.	Полив ДКШ-64 "Волжанка"	39	64	600	0,39	64	25,3	106	65
2.4.	Полив се- рийной ДДА- 100МА	37	130	600	0,78	120	66,2	135	85
2.5.	Полив мо- дернизиро- ванной ДДА-100ВХ	25	130	600	0,78	130	66,2	91	85
2.6.	Полив даль- неструйной машиной ДДН-70	52	65	600	0,39	50	66,2	189	170 (ДТ- 75м)

2.7.	Полив даль- неструйной машиной ДДН-100	65	100	600	0,6	80	110	236	220
3. Полив быстроразборными комплектами									
3.1.	Полив быстрораз- борным комплект КИ-50 (се- рийный)	45	47,2	600	0,28	50	66	123	236
3.2.	Полив быстрораз- борным комплект КИ-25 (се- рийный)	40	31	600	0,17	25	37	109	218
3.3.	Быстрораз- борный комплект КИ-5 (но- вый)	50	5-7	300	0,08	5	4,7	182	59
3.4.	Полив быстрораз- борным комплект КИ-10 (но- вый)	60	10- 11	300	0,120	10	8,8	218	73,3
3.5.	Полив быстрораз- борным комплект КИ-15 (но- вый)	60	14,6	300	0,16	15	12	218	75
4. Малоинтенсивное дождевание									
4.1.	Полив се- рийным синхронно- импульс- ным ком- плект КСИД-10	82	9,35	600	0,07	10	17	298	243
4.2.	Полив син- хронно- импульс- ным ком- плект КСИД-1 при норме поли- ва 300 м ³ /га	65	1,1	600	0,006 7	1,1	2,0 (0,715)	236	295,5

4.3.	Полив КСИД-1 при норме 300 м ³ /га	65	1,1	300	0,013 2	1,1	2,0 (0,715)	236	147,7
4.4.	Полив комплектом КСИД-Р при норме 600 м ³ /га	60	3,6	600	0,021 6	1,0	2,6	217,8	100
4.5.	Полив комплектом КСИД-Р при норме 300 м ³ /га	60	3,6	300	0,043 2	1,0	2,16	217,8	50
4.6.	Полив комплектом КИД-1 нормой 600 м ³ /га	60	2	600	0,012	1,0	1,2	163	100
4.7.	Полив комплектом КИД-1 нормой 300 м ³ /га	60	2	300	0,024	1,0	1,2	163	50
4.8.	Полив комплектом АИД	55	2,5- 9,5	300	0,1	0,23	5,23	150	52,3
5. Дождевание садово-ягодных культур									
5.1.	Полив шлейфом ШИД	50-60	2,5	300	0,1	1	1,5	163	15
5.2.	Полив комплектом ШИП	40	2,5	300	0,1	0,5	1	109	10
5.3.	Полив комплектом КИП-С	60	2,5	300	0,1	3	1,5	163	15
5.4.	Полив комплектом подкоронового орошения КПО	30-50	5-20	300	0,3	1-30	1,5-10	82-136	5-33
6. Полив поверхностным способом									
6.1.	Полив агрегатом ППА-165У	5,5	200	120 0	0,6	120	22-28 кВт	20	46,7
6.2.	Полив агрегатом ППА-165У	5,5	200	600	1,2	120	22-28 кВт	20	23,35
6.3.	Полив агрегатом ППА-300	7,8	300	120 0	0,53	300	22-28 кВт	28	52,8

6.4.	Полив колесным трубопроводом ТКП-90	20	90	800	0,45	60	18	54	40
6.5.	Полив трубопроводом ТКУ-100	15	100	800	0,46		15	41	32,6
6.6.	Полив устройством АШУ-4	25	4	800	0,015	3...4	1	68	66,7
6.7.	Полив комплектом ППК-25	15	25	600	0,15	20	5	54	33,3
6.8.	Полив трубопроводом ТКП-М	25	55	800	0,4	35	15	41	37,5
6.9.	Полив трубопроводом ТКП-П	25	65	800	0,46	40	15	41	32,6
6.10.	Полив комплектом КДП	1	25	800	0,8	20	0,25	3,6	0,32
7. Внутрипочвенный полив									
7.1.	Полив стационарной системой	2	2	300	0,33	1	0,04	5,5	0,13
8. Капельное орошение									
8.1.	Увлажнение системами капельного орошения	60	16,7	300	0,2	100	10	163	50

Выводы

1. Разработаны методические рекомендации по оценке энергоэффективности орошения 9 поливными машинами для 3-х зон увлажненности – аридной, субаридной и гумидной. Определены и произведены расчеты 11 удельных показателей оценки энергоэффективности технологии и машин для полива – удельные материалоемкость, капиталоемкость, трудоемкость, энергоемкость, расход энергии, приведенные затраты, показатели надежности, качества технологического процесса, коэффициенты КЗИ, КПД, эффективного полива.

2. Рассмотрено 40 технологий по 8 показателям энергоемкости водоподачи и расхода электроэнергии на полив, в т.ч. 4 технологии дождевания широкозахватными машинами кругового действия, 7 технологий дождевания фронтального действия, 5 технологий полива быстроразборными ирригационными комплектами, 8 технологий малоинтенсивного дождевания, 4 технологии полива садово-ягодных культур, 10 технологий поверхностного полива по 1 технологии внутрпочвенного и капельного увлажнения.

3. Оценка энергетической эффективности представленных технологий показывает следующее.

Наиболее энергоемкий способ и представленная технология является дождевание, энергоемкость полива колеблется от 106 кВт.ч/1000 м³ до 180 кВт.ч/1000 м³ менее энергоемким способом полива является поверхностный. Энергоемкость представленных технологий не превышает 41-54 кВт.ч/1000м³.

Удельный расход энергии на полив 1 га представленными машинами при дождевании составляет от 85 до 230 кВт.ч/га, при поверхностном поливе 32-40 кВт.ч/га.

Удельная материалоемкость поливного модуля зависит от увлажнения и варьирует от 4,35 (машины ДДН-70, 100) до 0,5-0,7 т/га (ДМУ "Фрегат", ДКШ-64 "Волжанка") при дождевании и (0,6÷1) т/га при поверхностном способе полива.

Показатель качества технологического процесса выше при использовании представленной дождевальной техники (0,85-0,936), чем при использовании техники поверхностного способа полива (0,7-0,89).

Качество полива широкозахватными дождевальными машинами выше чем полив дальнеструйными навесными аппаратами (0,7-0,75 и 0,5 соответственно). Использование новых поливных машин и способов поверхностного полива позволяют достичь коэффициента эффективности полива $K_{\varepsilon}=0,7$, что не ниже способа дождевания.