

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное научное учреждение  
«Российский научно-исследовательский институт  
проблем мелиорации»  
(ФГНУ «РосНИИМП»)

**Ю.Ф. Снопич**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ  
ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОРОШЕНИЯ  
ДОЖДЕВАНИЕМ**

Новочеркасск 2007

УДК 631.347:626.845

ББК 40.723

С 53

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

В.И. Ольгаренко – заведующий кафедрой эксплуатации ГМС ФГОУ ВПО «НГМА», засл. деятель науки РФ, чл.-кор. РАСХН, д-р техн. наук, профессор

**Снипич Ю.Ф.**

**С 53 Совершенствование технических средств орошения дождеванием.** – Новочеркасск: ООО «Геликон», 2007. – 110 с.

Рассмотренные вопросы обсуждались на Российском научно-практическом семинаре «Технология и техника орошения в современных условиях землепользования» и рекомендованы в печать.

УДК 631.347:626.845

ББК 40.723

© ФГНУ «РосНИИПМ», 2007

© Снипич Ю.Ф., 2007

ISBN 5-93542-015-5



## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                                                      | 5  |
| Глава 1     Анализ состояния орошаемого земледелия и техниче-<br>ского обеспечения орошения РФ.....                | 7  |
| 1.1     Основные проблемы в современном орошаемом сек-<br>торе АПК России.....                                     | 7  |
| 1.2     Технические средства и технологии орошения дожде-<br>ванием.....                                           | 12 |
| 1.3     Обеспеченность орошаемых земель поливной техни-<br>кой в РФ.....                                           | 18 |
| Глава 2     Теоретические предпосылки совершенствования до-<br>ждевальнoй техники.....                             | 22 |
| 2.1     Существующее состояние парка поливной техники в<br>АПК РФ.....                                             | 22 |
| 2.2     Совершенствование методики анализа удельных пока-<br>зателей новой и эксплуатируемой поливной техники..... | 27 |
| 2.3     Направления совершенствования поливной техники...                                                          | 39 |
| 2.4     Основные этапы обновления парка поливной техники                                                           | 47 |
| Глава 3     Разработка серии дождевателей консольных фрон-<br>тального действия.....                               | 52 |
| 3.1     Требования к качеству технологического процесса<br>дождевания.....                                         | 52 |
| 3.2     Обоснование конструктивно-технологической схемы<br>дождевальных машин серии ДКФ.....                       | 57 |
| 3.3     Разработка насадки секторного типа.....                                                                    | 64 |
| Глава 4     Определение основных агротехнических показателей                                                       | 67 |
| 4.1     Определение качества дождя.....                                                                            | 67 |

|         |                                                               |     |
|---------|---------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2     | Влияние ветра на равномерность полива.....                    | 77  |
| 4.3     | Объем задержания оросительной воды растительным покровом..... | 81  |
| 4.4     | Потери воды на испарение из дождевого облака.....             | 83  |
| 4.5     | Сток воды с поверхности почвы.....                            | 88  |
| Глава 5 | Технико-экономическая оценка дождевальнoй машины ДКФ-1П.....  | 92  |
|         | Общие выводы.....                                             | 99  |
|         | Литература.....                                               | 102 |

## ВВЕДЕНИЕ

Широкое развитие мелиорации в России, как и во всем бывшем СССР, характерное для периода 1966-1990 гг., в годы реформирования сельского хозяйства сменилось глубоким упадком. Строительство новых мелиоративных систем практически прекращено, не ведутся работы по реконструкции и восстановлению ранее построенных систем, а на реконструкцию систем и обновление техники выделяется менее одной трети объема необходимых средств. В результате этого резко ухудшилось техническое состояние систем в целом. Общая площадь орошаемых земель сократилась по сравнению с 1991 годом более чем на 1500 тыс. га, или более 25 %. Парк мелиоративных и строительных машин, использовавшихся ранее в мелиорации сократился более чем на 65-85 %. Инструментальная и материально-техническая база, т.е. производственная база в мелиорации практически уничтожена.

В Российской Федерации до 70 % сельскохозяйственных угодий располагается в недостаточно увлажненных и засушливых районах. В нашей стране и за рубежом наиболее прогрессивным способом механизированного полива является полив дождеванием. Такой вид орошения наиболее близок к оптимальному попаданию влаги к растению, то есть природному выпадению осадков. В этом случае увлажняется не только почва, но и листовая поверхность растений и приземный слой воздуха, что оказывает благоприятное воздействие на вегетацию растений, снижает температуру и повышает влажность воздуха в жаркие, засушливые периоды. Необходимо отметить что, широкое применение получил полив сельскохозяйственных культур широкозахватными многоопорными дождевальными машинами «Днепр», «Фрегат», «Кубань» и дождевальной установкой «Волжанка», так как они позволяют более полно использовать методы механизации и автоматизации в процессе полива, в широких диапазонах менять поливную норму, сократить число операторов и тем самым повысить производительность труда.

В свою очередь, начиная с 1991 года, наряду с постоянным снижением орошаемых площадей, значительно ухудшается техническое состояние оросительных систем, наблюдается катастрофическое сокращение поливной техники. Так, в настоящее время, осталось около

25 тыс. дождевальных машин, из которых более 20 тыс. уже отслужили свой нормативный срок.

Эффективное обеспечение производства сельскохозяйственной продукции поливной техникой занимает особое место в АПК, поскольку такая техника является производственным аппаратом орошаемого агропромышленного сектора, функционирование которого в большинстве климатических условиях РФ и некоторых технологиях производства определяет конкурентоспособность продукции, в том числе:

- уровень производства сельскохозяйственной продукции (объемы производства продукции, продуктивность растений, рентабельность производства);
- качество сельскохозяйственной продукции;
- уровень производительности труда и затрат других общественных ресурсов на ее производство;
- социально-экономический уровень сельского населения;
- условия эффективного введения в хозяйственный оборот достижений научно-технического прогресса – высокопродуктивных сортов культур, удобрений, средств защиты растений, новых технологических приемов, современных технологий и др.

Разработка, производство и внедрение в хозяйственный оборот АПК РФ поливной техники нового поколения с существенно более высокими технико-экономическими показателями, является основой вывода орошаемого сельскохозяйственного производства на необходимые объемы производства отечественного продовольствия и его конкурентоспособность.

Как показывают результаты ежегодного мониторинга большинство работающих в настоящее время дождевальных машин, из-за низкого технического уровня, значительного срока эксплуатации, малой надежности и предельной изношенности узлов не удовлетворяют современным требованиям не позволяет проводить своевременный и качественный полив сельскохозяйственных культур.

Из-за отсутствия необходимых средств сельхозпроизводитель не в состоянии приобрести новую дорогостоящую поливную технику. В этих условиях более реальным выходом является поддержание имеющегося парка дождевальной техники путем восстановления ма-

шин с истекшим сроком службы. Такое решение проблемы требует разработки новой методики технической диагностики дождевальных машин, что позволит продлить их работоспособность, необходимую для сохранения оросительных систем в эксплуатационном режиме и производстве необходимых объемов сельскохозяйственной продукции.

ФГНУ «РосНИИПМ» провел анализ технического состояния парка дождевальных машин и пути его восстановления. Анализ показал, что наиболее восстанавливаемыми являются орошаемые участки с поливной техникой, работающей от открытой оросительной сети и автономными энергоносителями. К таким дождевальным машинам можно отнести машины типа ДДА. Имея высокие показатели по мобильности, простоты эксплуатации, производительности и др., машины этой серии еще довольно материалоемкие. Этот недостаток уменьшается с разработкой серии дождевальных машин типа ДК (ДКДФ-1, ДКДФ-1П и ДКФ-1ПК), прошедших Государственные испытания. Создание дождевальной машины с новыми конструктивными решениями требует научных исследований и обоснований параметров работы, технических и технологических решений, повышения надежности.

В связи с вышеизложенным актуальными являются разработки связанные с совершенствованием технологий и технических средств полива дождеванием, чему и посвящена настоящая работа.

Работа выполнялась в ФГНУ «РосНИИПМ» (ЮжНИИГиМ) начиная с 1998 г. на основании тематических планов НИР и ОКР, а в последнее время в соответствии с научно-техническими программами «Мелиорация и гидротехника» и «Плодородие почв».

## **1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОРОШЕНИЯ РФ**

### **1.1 Основные проблемы в современном орошаемом секторе АПК России**

Прежде чем рассматривать техническое состояние парка поливной техники, следует провести краткую сравнительную оценку современного состояния развития орошения и продовольственного обеспечения в стране и за рубежом.

Продовольственная зависимость от импорта для многих стран мира стала угрозой национальной безопасности и уже превратилась в проблему XXI века, и наряду с нефтью и газом стала ведущим фактором мировой политики. Для Российской Федерации состояние продовольственной безопасности после 10-15 лет перестроечно-рыночных реформ стало уже недостаточным, а для некоторых регионов даже критическим, что признается уже официально [84]. При этом считается, что продовольственная безопасность страны обеспечивается, если удельный вес отечественного продовольствия на рынке составляет не менее: зерна – 90 %; сахара – 60 %; растительного масла – 70 %; мяса, молока, рыбы – 80 %. Цены же на всю сельскохозяйственную продукцию должны быть доступны для бесперебойного удовлетворения потребностей населения в соответствии с рациональной структурой питания.

При сохранении темпов ежегодного прироста населения Земли на 1,4 % (78 млн чел.), к 2010 году численность населения планеты составит 9 млрд человек, что в 4 раза больше критического порога устойчивости биосферы.

В настоящее время в мире 40 % продовольствия производится на орошаемых землях, которые составляют 17 % всех сельскохозяйственных земель (дальнейшее их увеличение ограничивает недостаток ресурсов и воды). В России же за период 1960-1900 гг. было введено в эксплуатацию 4,65 млн га и составляло 6,16 млн га. Последующие годы отмечены нарастающим сокращением орошаемых земель, и к 2000 г. они составили 4,47 млн га, что означает уменьшение на 27 % и составляет не более 3 % от всех сельскохозяйственных угодий, хотя во многих регионах недостатка в водных ресурсах нет.

Российская Федерация занимает третье место в мире (после США и Индии) по площади пашни – 130 млн га и имеет 0,82 га на душу населения (при среднемировом показателе 0,23 га), но не входит в группу лидирующих стран по объему производства сельскохозяйственной продукции.

Несмотря на увеличение орошаемых площадей в мире, за последние 50 лет площади под зерновые культуры сократились с 0,23 до 0,17 гектар на человека при среднем производстве зерна 250-270 кг на душу населения (максимум – 340 кг в 1980 г.). В России производство

зерна на душу населения упало с 713 кг (1980-1990 гг., когда ставилась задача довести этот показатель до 1000 кг) до 450-600 кг за последние годы, что реально стало угрозой для продовольственной безопасности страны.

Недостаточное применение удобрений тоже является сдерживающим фактором роста урожайности. Использование удобрений в мире за последние годы увеличилось с 10 до 14 млн т. В странах-экспортерах зерна (США, Канада, Австралия, Аргентина) средняя урожайность – в пределах 22 ц/га (во Франции – 65 ц/га). В России же средняя урожайность зерна – в пределах 15-16 ц/га при минимальном, 6-8 кг/га, внесении удобрений (оно уходит на экспорт). Однако и чрезмерное применение удобрений чревато ухудшением качества продукции, снижением устойчивости к болезням (Голландия производит продукции более 70 ц/га – уже при биологическом пределе усвоения растениями удобрений).

Существенным показателем эффективности сельскохозяйственного производства страны является уровень калорийности питания населения, являющийся основным показателем социально-экономической политики. Такие страны, как США, Франция, Канада имеют показатель в пределах 3300-3400 ккал/чел в сутки, что и определяет среднюю продолжительность жизни населения в пределах 75-80 лет. Такие страны, как Камбоджа, Афганистан при калорийности питания 2000 ккал/чел. в сутки и менее, имеют среднюю продолжительность жизни 45-50 лет. За годы перестройки калорийность питания населения России упала с 2900-3350 ккал (7-е место в мире) до 2200 ккал (71 место в мире), а продолжительность жизни сократилась до 60-65 лет. За это время численность же населения сократилась с 148,3 до 143,1 млн чел. (2002 г.), т.е. уменьшилась более чем на 5 млн человек.

Особенно напряженное положение сложилось в сельских районах – депопуляция охватила 71 регион. В самой дееспособной группе населения (35-39 лет) смертность за последние два года выросла на 11,5 %, учитывая, что доля сельского населения в стране составляет 19,6 %. Особенно тревожное положение сложилось в Центральном федеральном округе – в общей доле убыли сельского населения его доля составляет 31,6 %.

В начальный период реформ АПК государство возлагало надежды на хозяина села – фермера. Сейчас в России (в среднем) около 260 тыс. фермерских хозяйств, при среднем его размере – 62 га, колебание составляет от 21 га (Центральный ФО) до 104 га (Сибирский ФО). Надежды эти не оправдались. Такие хозяйства, имеющие трактора мощностью 20-30 л.с. производят не более 2 % сельскохозяйственной продукции. Общее же состояние сельскохозяйственного производства за последние годы (на 2001 г.) характеризуется падением площади пахотных земель с 211616 (1999 г.) до 119733 га. При этом структура сельхозпредприятий представляет очень пеструю картину: предприятия новых форм хозяйствования – 75 %, колхозы – 9 %, совхозы – 2 %, госхозы – 7 %, коллективные предприятия – 3 %, другие формы – 4 %. Следует подчеркнуть, что при таком многообразии форм хозяйствования, общая площадь орошаемых земель за три года сократилась на 1765 тыс. га, что свидетельствует об экономической неэффективности. За три года (1999-2001 г.) общее число убыточных предприятий всех форм собственности составляет соответственно 55-53 и 55 %.

Ожидаемое глобальное потепление планеты дает России некоторые надежды на улучшение продовольственной безопасности. Увеличение количества и мощности стихийных бедствий, связанных с потеплением, коснется в основном Африки, Южной Америки, Юга и Севера Европы, Канады, северных штатов США и в меньшей степени России. В обозримом будущем площади тундры и тайги – уменьшатся, а леса, степи и лесостепи – увеличатся. Ожидается увеличение урожайности зерна, сахарной свеклы, подсолнечника, кормов для животноводства. Это обстоятельство поможет решить проблему физического обеспечения населения основными видами продовольствия и максимально сократить импорт. Таким образом, ожидаемый в XXI веке всеобщий дефицит сельскохозяйственной продукции для России может быть менее жестким благодаря ее большим земельным, водным резервам и развитию орошения.

Однако эти обстоятельства не дают основания не предпринимать самых энергичных мер по интенсификации сельскохозяйственного производства (в том числе и мелиорации, развития технических средств и технологий орошения).



В настоящее время из семи Федеральных округов только три имеют положительный продовольственный баланс – Южный (Северо-Кавказский), Приволжский и Сибирский. По данным 2001 г., они имеют, соответственно, положительный продовольственный баланс 8,8; 4,3 и 8 млн т [84].

По прогнозам, в России для стабильного получения хотя бы 600 кг зерна на душу населения площадь орошаемых земель (при продуктивности 7 тыс. кормовых единиц с га) должна быть расширена до 12 млн га. С учетом же водообеспеченности (без межбассейновых перебросок стока) возможная площадь орошаемых земель ограничивается до 10,1 млн га. Следовательно, надо обеспечивать более высокую урожайность всех сельскохозяйственных культур, в том числе и на орошаемых участках. С учетом имеющейся водообеспеченности ожидается, что гарантирование средней устойчивости развития сельского хозяйства может быть достигнуто при увеличении размеров орошаемых площадей по ведущим Федеральным округам: Приволжском, Западно-Сибирском и Южном в пределах, соответственно, 3,15; 2,24 и 1,78 млн га.

В таком же критическом состоянии находится и материально-техническая база агропромышленного производства во всех регионах Российской Федерации. Кризис агропромышленного сектора экономики России обусловлен многочисленными причинами, но прежде всего – ошибками в аграрной политике при реформировании АПК, которые усугубили ранее накопившиеся специфические проблемы комплекса: низкая рентабельность, сокращение машинно-тракторного парка и его малая энерговооруженность, упрощение технологий, низкий уровень цен на сельхозпродукты, межотраслевой (почти пятикратный) диспаритет между ценами на энергетические и другие промышленные ресурсы, поставляемые селу (в результате отказа Правительства РФ от межотраслевого регулирования цен), плохая адаптация сельхозмашиностроения к рыночным условиям; проблемы демографические и кадровые.

С 1990 г. парк дождевальных машин сократился с 80217 до 23167 шт. в 2003 г., а парк тракторов уменьшился с 1365 до 745 тыс. единиц в 2002 г., т.е. ежегодно списывалось почти по 5 тыс. дождевальных машин и 40-50 тыс. тракторов. Точно такое же положение и

с другими техническими средствами. Они находятся на пределе технического использования, их износ составляет более 70-75 %. В результате этого нагрузка на отдельные виды техники увеличилась в 2-2,5 раза, что еще больше увеличивает их износ. При этом надо учитывать, что по ранее действующей системе машин коллективное хозяйство было рассчитано на усредненную мощность трактора 70-80 л.с., в то время, как в США и др. странах в высокотоварных хозяйствах она составляла 170-180 л.с. В результате этого и выработка на одного работника составляла 460 т зерна, а в России – 75 т (или другой продукции на 70 тыс. долл., а в России – на 4 тыс. руб). Одновременно с этим существенным образом сокращается и общее количество тракторов, происходит увеличение выпуска тракторов мощностью 200-420 л.с. Целесообразность такого повышения энергообеспеченности в АПК признана в настоящее время и в России.

Предполагается, что для создания и освоения перспективного парка машин нового поколения потребуется около 2,2 трлн руб. (более 60 млрд долл. США), в том числе для сельскохозяйственных машин для растениеводства – 900 млрд рублей. Активно и эффективно участвуя в развитии растениеводства, производственные, промышленные и научно-исследовательские организации, обеспечивающие функционирование и развитие орошаемого земледелия, в том числе создание нового поколения техники полива, могут рассчитывать на свою существенную долю финансирования в этой работе. Прогнозируется, что реализовать эту программу удастся за 12-17 лет, т.е. к 2020 г.

Качественные изменения отечественных машин нового поколения должны быть связаны с глубокими преобразованиями их технологических и технических характеристик, с повышением эксплуатационной надежности, с автоматизированным перемещением мобильных агрегатов и с глубокой автоматизацией технологических процессов.

## **1.2 Технические средства и технологии орошения дождеванием**

Одним из важнейших факторов правильной организации современного орошаемого хозяйства – это высококачественное проведение поливов сельскохозяйственных культур. Качество поливов дождева-

нием, прежде всего, зависит от применяемой поливной техники. Поэтому она должна удовлетворять следующим основным требованиям:

- обеспечивать расчетные поливные режимы сельскохозяйственных культур;

- равномерно увлажнять почву в пределах корнеобитаемого слоя по всему полю без непроизводительного сброса воды за пределы поля и в более глубокие слои почвогрунтов (за исключением промывных поливов засоленных земель, занятых под рис);

- повышать производительность труда поливальщиков с возможно большей механизацией и автоматизацией поливов;

- не препятствовать проведению агротехнических мероприятий и других сельскохозяйственных работ;

- обеспечивать качественные поливы на любых уклонах сельскохозяйственных угодий;

- снижать затраты труда и средств на единицу сельскохозяйственной продукции по сравнению с ранее применяемой поливной техникой;

- способствовать повышению плодородия почв и улучшению мелиоративного состояния орошаемых и прилегающих земель.

Несмотря на сравнительно краткую историю своего развития, техника дождевания прошла сложный путь совершенствования. Большое различие почвенно-климатических, экономических и социальных условий стран, а также разнообразие сфер и задач орошения, обусловило создание большого числа типов и размеров дождевальной техники.

Современную дождевальную технику классифицируют в зависимости от типа насадок или аппаратов, с помощью которых создается искусственный дождь, а также от того, где установлены эти насадки и аппараты – на поливном трубопроводе, консольной ферме или тракторе; от технологии дождевания, т.е. как происходит полив – в движении машины или позиционно; от конструкции оросительной сети – открытые каналы или трубопроводы (постоянные или временные), от способа перемещения поливного оборудования – механизированный или с применением ручного труда.

Отсутствие объективного научно обоснованного критерия классификации дождевальных устройств, аппаратов, машин и т.д. привело

к тому, что каждый автор, в той или иной мере субъективно, подразделяет их на типы и виды, отдавая предпочтение тем или другим из них. Этому положению способствует и то обстоятельство, что для различных условий разрабатываются и проверяются многочисленные варианты использования принципиально одних и тех же типов дождевальных аппаратов.

А.Н. Костяков [46] подразделяет все дождевальные установки на три основных вида: короткоструйные (низко- и средненапорные) агрегаты, работающие позиционно; короткоструйные агрегаты (мостовые и консольные), работающие в движении; дальнеструйные (высоконапорные) аппараты, работающие позиционно.

Н.И. Рычков [23] считает, что дождевальные аппараты целесообразно подразделять на короткоструйные (насадки), среднеструйные и дальнеструйные, различные варианты использования которых позволяют получать короткоструйные и дальнеструйные дождевальные машины и установки. Другие же авторы подразделяют дождевальную технику на три класса: (дальнеструйные, короткоструйные и среднеструйные) с последующим подразделением на две группы (работающие позиционно и работающие в движении), включающие три вида (стационарные системы, системы с механическим и ручным перемещением).

В то же время Б.М. Лебедев и В.В. Беляев [48, 49] подразделяют дождевальные устройства на два основных класса – дальнеструйные и короткоструйные, работающие позиционно или в движении. Особо выделяются аэродинамические установки, орошающие искусственным туманом (облаком).

Однако в своем последнем труде Б.М. Лебедев оборудование для дождевания считает возможным классифицировать на шесть типов:

1. Дождевальные установки. К ним относят: короткоструйные, среднеструйные и дальнеструйные установки с переносными трубопроводами на колесах или полозьях, перемещаемые вручную, с помощью тракторов или специальных двигателей; установки с разборными трубопроводами, перемещаемыми при помощи специальных трубоукладчиков; стационарные дождевальные системы с трубопроводами, уложенными в землю; полустационарные дождевальные ус-

тановки с быстроразъемными трубами, устанавливаемые на орошаемом участке на весь период полива.

2. Дождевальные машины. В эту группу входят машины, в которых механическую или гидравлическую энергию используют для полива и перемещения по орошаемому полю, дальнеструйные тракторные прицепные и навесные машины; двухконсольные дождевальные агрегаты; самоходные многоопорные машины с механическими, гидравлическими и электрическими двигателями.

3. Стационарные насосные станции. В эту группу входят насосные станции, монтируемые постоянно в специальном помещении. Станции оснащены специально оборудованным водозабором с приводом от тепловых или электрических двигателей и стандартным насосным оборудованием.

4. Передвижные насосные станции. Они предназначены для подачи воды в оросительную сеть дождевальных установок и машин или непосредственно в дождевальные установки и машины. К ним относят: навесные и прицепные тракторные насосные станции; насосные станции с собственными двигателями внутреннего сгорания и электродвигателями; плавучие насосные станции с двигателями внутреннего сгорания или электродвигателями.

5. Стационарные трубопроводы, выполняющие роль подводящих и оросительных трубопроводов, их разделяют на трубопроводы из стальных или асбоцементных труб, уложенные ниже пахотного слоя и работающие только в летний период, и трубопроводы, уложенные ниже уровня промерзания, с гидрантами для присоединения дождевальных установок и машин или для присоединения дождевальных аппаратов в условиях стационарных дождевальных систем.

6. Разборные передвижные трубопроводы с быстроразъемными муфтами. Эти трубопроводы подводят воду к дождевальным установкам и машинам или подают воду в каналы, откуда она забирается дождевальными машинами или передвижными насосными станциями для подачи в дождевальные установки.

По мнению других специалистов, формы дождевания следует подразделять на основе различного рабочего напора на следующие 5 типов:

1. Дождевание под высоким напором – более 5 атм.;

2. Дождевание при среднем напоре – от 3 до 5 атм.;
3. Медленное дождевание – при напоре от 2,5 до 3 атм.;
4. Дождевание при низком напоре – от 1,2 до 2,5 атм.;
5. Дождевание под очень низким напором – от 0,5 до 1,2 атм.

В США дождевальные аппараты подразделяются на следующие семь типов:

1. Низконапорные – работающие при напоре 0,35-1,05 атм.;
2. Умеренного напора – работающие при напоре 1,05-2,1 атм.;
3. Средненапорные (среднеструйные) – работающие при напоре 2,1-4,2 атм.
4. Высоконапорные – работающие при напоре 3,5-7,0 атм.;
5. Гидравлические или гигантские (дальнеструйные) – работающие при напоре 5,6-8,4 атм.;
6. Низконапорные, установленные под деревьями, с низким углом разбрызгивания (короткоструйные) – работающие при напоре 0,7-1,05 атм.;
7. Перфорированные трубы – работающие при напоре 0,28-1,4 атм.

По способу перемещения широкозахватные дождевальные машины можно разделить на три основные категории:

- 1) радиальные, дождевальное крыло перемещается по кругу вокруг одной неподвижной опоры;
- 2) фронтальные, дождевальное крыло расположено перпендикулярно оси движения;
- 3) продольно-осевые, дождевальное крыло расположено параллельно оси движения.

К машинам с радиальным способом перемещения относятся ДМ «Фрегат», «Кубань ЛК». Такой способ перемещения позволяет проводить полив всей закрепленной площади от одного гидранта. Эти дождевальные машины хорошо поддаются автоматизации, в том числе и при групповом использовании. К основным недостаткам следует отнести следующее:

- необходимость использования монокультуры или агрокультур с одинаковым водопотреблением, т.к. движение без полива по участку в серийных машинах не предусмотрено;
- практически не решена проблема орошения углов;

- движение машины происходит во время полива по одному следу, что в конечном итоге приводит к образованию колеи.

Дождевальные машины «Волжанка», «Днепр», ДДА 100МА являются типичными представителями машин с фронтальным способом перемещения. Такой способ позволяет работать на прямоугольных орошаемых площадях, не оставляя участки без полива. Передвижение этих дождевальных машин происходит от автономных двигателей, а следовательно, появляется возможность движения без полива и размещения на орошаемых площадях различных по водопотреблению культур. Необходимость переключения дождевальных машин «Волжанка» и «Днепр» с одного гидранта на другой, после выдачи поливной нормы, снижает их эффективность и требует, как правило, присутствия оператора.

Дождевальные установки продольно-осевого перемещения были названы «дождевальными шлейфами». Результаты научно-исследовательских разработок по дождевальным шлейфам и их применению в сельском хозяйстве привели к отказу от принципа самоходности и переходу на перемещение методом буксировки [8].

Анализ этих не совсем полных данных свидетельствует, что в каждой из приведенных классификаций имеются те или иные упущения (не учтены самонапорные системы, дождевальные «пушки», воздушно-мостовой способ дождевания и т.д.).

Кроме того, даже в пределах принятых классификаций нет единообразия и достаточной объективности. Например, короткоструйными насадками (половинчатыми, дефлекторными, щелевыми и центробежными) одними авторами считаются те, которые работают при давлении 0,5-1,5 атм., у других же те, радиус действия которых 8-10 м, а у третьих – работающие при давлении 0,5-3 атм. и имеющие радиус действия 10-12 м. Среднеструйными аппаратами считаются аппараты, работающие при давлении 0,8-2,5 атм., либо при давлении 1,5-2,5-3,5 атм. с радиусов действия 20-25 м. Дальнеструйными аппаратами считаются либо такие, у которых напор 3-7 атм. и дальность струи более 50 м, либо работающие при напорах 3,5-8,0 атм. с радиусом 20-70 м, либо работающие при напорах 2,5-8,0 атм. Точно такая же несогласованность и при определении остальных параметров и по-

казателей, например, интенсивности, расхода и т.д., характеризующих эти типы аппаратов.

Это свидетельствует о том, что классификация дождевальных устройств нуждается в дальнейшем усовершенствовании на основе объективных и научно-обоснованных показателей.

За последние 40 лет в нашей стране было разработано и поставлено на производство большое количество моделей дождевальной техники. Наибольшее распространение получили ДДА-100 МА, ДДН-70, «Волжанка», «Фрегат», «Кубань» и их модификации. Но в настоящее время дорогие технически сложные машины практически не используются из-за выхода из строя, разукомплектации и отсутствия высококвалифицированного обслуживающего персонала.

### **1.3. Обеспеченность орошаемых земель поливной техникой в Российской Федерации**

Общеизвестно, что водохозяйственный технический комплекс РФ в 1990 г. был на уровне передовых государств и отвечал в основном требованиям крупного землепользования, занимая ведущее место в объемах производства сельскохозяйственной продукции, особенно кормов и овощей. К настоящему времени комплекс технического обеспечения открытых и закрытых сетей мелиоративных систем с насосными станциями, поливной техникой и объектами базы эксплуатации в основном разрушен.

Современный этап развития орошаемого земледелия, до недавнего времени характеризовавшийся глубоким экономическим кризисом, приобретает несколько стабилизирующийся характер. Однако, аграрная реформа, начатая в России в 1990 г. и направленная на создание рыночной системы хозяйствования, не предотвратила, а наоборот ускорила общий спад объема орошаемых земель, что повлекло за собой значительное уменьшение поливной техники.

Начиная с 1990-го года, в Российской Федерации произошло сокращение поливной техники по всем видам в 3,5 раза (табл. 1). Уменьшение количества поливной техники по-прежнему идет не только в зоне неустойчивого естественного увлажнения, но и в регионах традиционного орошаемого земледелия, таких как Поволжье, Северный Кавказ.



Таблица 1

**Наличие дождевальных машин в Российской Федерации по годам  
в шт.**

| Год  | Всего   | «Кубань» | «Фрегат» | «Днепр» | «Волжанка» | ДДА-100МА и др. |
|------|---------|----------|----------|---------|------------|-----------------|
| 1990 | 80217,0 | 892      | 19160    | 3425    | 25931      | 30809           |
| 2000 | 34583,5 | 757      | 12596    | 1370    | 7610       | 12250,5         |
| 2001 | 29620,5 | 389      | 11182    | 972     | 5658,5     | 11419           |
| 2002 | 26360,0 | 378      | 10456    | 811     | 5184       | 9531            |
| 2003 | 23167,0 | 352      | 9265     | 692     | 4055       | 8803            |
| 2005 | 20049   | 192      | 8364     | 568     | 3605       | 7320            |

В настоящее время осталось около 25 тыс. дождевальных машин, в том числе более 20 тысяч уже отслуживших свой нормативный срок. Более 60 % закрытой сети требуют замены, на которой морально и физически устарела запорно-регулирующая арматура, более 95 % протяженности открытых межхозяйственных каналов утратили свои противофильтрационные свойства.

Общее техническое состояние большинства оросительных систем, построенных в 60-80 годах прошлого века и напрямую влияющих на количество поливной техники, оценивается в настоящее время как неудовлетворительное.

К 1990 году парк дождевальной техники составлял по России 80,2 тыс. единиц, в том числе широкозахватной – 50,6 тысяч. По трем регионам – Краснодарский, Ставропольский края и Ростовская область – соответственно около 10 тысяч из них 6,5 тысяч широкозахватных. Средняя нагрузка на одну дождевальную машину составляла 63 гектара. Уже через 10 лет парк дождевальной техники по России снизился до 29,6 тыс. штук, а по трем вышеназванным регионам соответственно до 4,2 тыс. штук.

Для изготовления дождевальной техники существовали специализированные заводы в г. Кропоткин Краснодарского края, г. Волгограде, г. Котельниково Волгоградской области. Кроме того, до развала Союза такие специализированные заводы были в г. Первомайском, Херсоне (Украина), г. Тирасполе (Молдова) и т.д. Всего было 12 специализированных заводов, которые производили 29 тысяч машин за пятилетку для замены старых ДМ и 10 тысяч для оснащения орошаемых земель нового строительства. В настоящее время завод оро-

сительной техники в г. Волгограде производит и продает модернизированный вариант традиционного первого поколения дождевальной техники агрегат ДДА-100ВХ, а Кропоткинский машиностроительный завод «Радуга» может приступить к выпуску модернизированных многоопорных широкозахватных машин фронтального и кругового действия МДЭФ «Кубань-Л» и МДЭК «Кубань ЛК-1». Имеющиеся мощности машиностроительной промышленности позволяют выпускать в год до 10 тыс. единиц поливной техники. Фактически же выпускается не более 250 машин, высокая стоимость которых ограничивает спрос.

Сокращение парка дождевальной техники приводит к сокращению общего количества фактически орошаемых земель. На сегодня при имеющихся 4454 тыс. га возможен механизированный полив на площади около 1560 тысяч гектаров по России, а по ЮФО – из имеющихся 2164 тыс. га механизированный полив возможен только на 540 тыс. га.

Не улучшает положения и то, что из оставшихся земель с сохранившейся оросительной сетью ежегодно не поливается практически половина площади по причинам неисправности хозяйственной сети и поливной техники, отсутствия запасных частей и средств на замену выработавшего нормативный срок службы оборудования, высокой стоимости потребляемой энергии.

В настоящее время в состав сельскохозяйственных угодий РФ входят: пашня – более 120 млн га, сенокосы – около 8,8 млн га, многолетние насаждения – примерно 1,4 млн га, залежь – более 1,8 млн га. В сельском хозяйстве насчитывается около 25 тыс. предприятий различной формы собственности по производству сельскохозяйственной продукции. В их ведении находится 90 % всех сельхозугодий и они производят: зерна – 91 %, технических культур – 97 %, овощей – 24 % и картофеля – 7,9 % от общего производства в стране. По-прежнему, значительная часть картофеля – 92,1 % и овощей – 76 % выращивается на приусадебных участках граждан и мелких фермерских хозяйствах, количество которых составляет около 260-300 тыс. га.

По данным ежегодного земельного кадастра, с 1999 г. доля неблагоприятных в мелиоративном отношении земель продолжает воз-

растать, и в настоящее время на 85 % площади сельскохозяйственных угодий требуется проведение различных видов мелиорации.

Начиная с 1995 г., в РФ произошло значительное падение продуктивности агропромышленного комплекса, в т.ч. и производства продукции на орошаемых землях. Возникла угроза продовольственной безопасности страны. Воспроизводство плодородия земель в последующие годы не обеспечивается, в том числе из-за некачественного полива и недостаточных доз внесения органических и минеральных удобрений. Значительно ухудшается техническое состояние оросительных систем. Многократно сокращаются инвестиции в финансирование ремонтно-эксплуатационных работ.

Известно, что большинство дождевальных машин работают от закрытой оросительной сети. К настоящему времени более 70 % закрытых трубопроводов отслужили свой нормативный срок и требуют ремонта или замены, а, как известно, срок их службы в 4-6 раз больше, чем у дождевальных машин, что требует более частой замены именно дождевальных машин на сети. Физически, да и морально устарела запорно-регулирующая арматура, а 80 % открытых каналов, обеспечивающих работу насосных станций и дождевальных машин, требуют восстановления противофильтрационной облицовки. Особого внимания требуют насосные станции как передвижные, так и стационарные. Число насосных станций сократилось с 33,5 до 8,5 тыс. шт. Из имевшихся ранее 10 тыс. передвижных насосных станций сохранилось около 1,5 тыс., из которых более 50 % требуют капитального ремонта или уже отслужили нормативный срок. В таком же состоянии находятся и водозаборные узлы, пристанционные сооружения [12, 104].

В создавшихся сложных экономических условиях, в которых оказались отечественные сельхозпроизводители, при беспределе посреднических структур и импортных фирм, при отсутствии щадящей кредитно-налоговой политики государства, большинство сельскохозяйственных предприятий отказались от ремонта сложных узлов на заводах и сервисных предприятиях, что еще больше подорвало работоспособность машинно-тракторного парка. В таком положении, особенно для слабых хозяйств, единственным способом восстановления работоспособности является использование услуг машинно-

технологических станций (МТС), число которых должно постоянно увеличиваться. Концентрация в них существующей и новой техники позволит увеличить производство продукции по интенсивным и ресурсосберегающим технологиям, при выполнении других энергоемких работ в 1,6-2,0 раза [12].

## **2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

### **2.1 Анализ удельных показателей применяемой серийной поливной техники**

В период активного конструирования и внедрения поливной техники в Российской Федерации (60-70 годы) не учитывались такие факторы, как материалоемкость, энергоемкость, стоимость оборудования и т.д. Резкое уменьшение выпуска новых дождевальных машин, списание и утилизация эксплуатируемых во многом связана с вышеуказанными факторами. Материалоемкие, энергоемкие и дорогие дождевальные машины не пользуются у сельхозпроизводителя спросом. Для выявления направлений конструирования дождевальных машин нового поколения в РосНИИПМ предложена методика и разработана прикладная компьютерная программа, позволяющая анализировать некоторые технические показатели существующих и вновь создаваемых дождевальных машин [105]. Суть методики заключается в том, что строится таблица из набора дождевальных машин, в которую вносятся технические показатели (расход, обслуживаемая площадь). Далее вносятся данные о металлоемкости, стоимости и энергетических затратах всего оборудования, включая насосные станции, трактора, закрытый трубопровод и т.д. В наборе анализируемых машин каждый из факторов рассчитывается по среднеарифметической величине и получает безразмерный коэффициент выше или ниже единицы. Анализ по данной методике можно проводить по любым факторам и для любого набора дождевальных машин. По результатам расчета строится график, который наглядно показывает, для какой дождевальной машины какой из факторов находится в норме или превышает ее.

По данной методике был проведен анализ используемых в настоящее время девяти дождевальных машин (табл. 2). Было установлено, что такие ДМ, как «Фрегат», «Днепр», «Кубань» по металлоемкости

на гектар обслуживаемой площади и на 1 л/сек организованной водоподачи, намного превышают такие дождевальные машины, как «Волжанка», «ДДН-70», «ДДА-100 МА». Для организации полива ДМ «Фрегат» необходимо 39 т металла, ДМ «Днепр» – 40 т, ДМ «Кубань» почти 48 т каждая, причем значительная часть металлоемкости этих машин, кроме «Кубань», приходится на закрытые трубопроводы. Такая же картина вырисовывается и с точки зрения экономической оценки. Из 2,7 млн руб. стоимости оборудования для ДМ «Фрегат» 1,8 млн руб. приходится на закрытый трубопровод, без стоимости работ.

Резкое повышение цен на энергоресурсы, неадекватные ценам на производимую сельскохозяйственную продукцию, потребовало анализа существующей дождевальной техники и с точки зрения энергоемкости. Энергоемкими дождевальными машинами как на 1 га, так и на 1 л/сек. организованного расхода являются ДМ «Фрегат» и ДМ «Кубань».

Конструкция дождевальной машины «Днепр» предусматривает использование двух энергоустановок – насосной станции для подачи и формирования дождевого облака и трактора с генератором для перемещения по орошаемому участку. Такая схема снижает общий КПД энергоустановок и увеличивает энергопотребление.

Анализ графиков наглядно демонстрирует, какие дождевальные машины и по каким факторам находятся в норме или превышают ее. Наиболее приемлемой, из широкозахватных ДМ, является «Волжанка». Однако из-за применения цветного металла стоимость ее превышает норму для данного набора машин. Определенный недостаток «Волжанки» заключается в том, что для организации полива этой машиной используется закрытый трубопровод.

Дождевальные машины «Фрегат», «Днепр», «Кубань», при данном анализе требуют значительного уменьшения материалоемкости. Небольшая стоимость оборудования дождевальной машины «Кубань» объясняется тем, что при ее работе не требуется закрытый трубопровод.

Таблица 2

## Относительные показатели серийных дождевальных машин

| Оценочные<br>показатели                                              | Фрегат Б<br>434-90 |      | Днепр |     | Кубань |     | Волжанка |     | ДДН-70 |     | ДДА-<br>100ВХ |     | ДКДФ 1 |     | ШД<br>25/300 |    | Фрегат<br>ДМУ 199 |      | Кубань<br>ЛК 1 |      |      |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------|------|-------|-----|--------|-----|----------|-----|--------|-----|---------------|-----|--------|-----|--------------|----|-------------------|------|----------------|------|------|
| 1                                                                    | 2                  | 3    | 4     | 5   | 6      | 7   | 8        | 9   | 10     | 11  | 12            | 13  | 14     | 15  | 16           | 17 | 18                | 19   | 20             | 21   | 22   |
| Технические данные                                                   |                    |      |       |     |        |     |          |     |        |     |               |     |        |     |              |    |                   |      |                |      |      |
| Материало-<br>емкость, т.<br>всего:<br>в том числе:                  | 39,6               | 1,52 | 40,4  | 1,5 | 47,8   | 1,8 | 26,7     | 1   | 6,6    | 0,3 | 10,1          | 0,4 | 7,6    | 0,3 | 18           | 1  | 19,7              | 0,6  | 44,4           | 1,7  | 26,1 |
| насосная<br>станция                                                  | 3,8                |      | 2,9   |     | 0      |     | 2,9      |     | 0      |     | 0             |     | 0      |     | 2,9          |    | 2,9               |      | 3,8            |      |      |
| трубопро-<br>воды                                                    | 21,8               |      | 21    |     | 0      |     | 18,4     |     | 0      |     | 0             |     | 0      |     | 8,1          |    | 10,3              |      | 22,4           |      |      |
| дождеваль-<br>ная машина,<br>в том числе<br>трактор                  | 14                 |      | 17,4  |     | 47,8   |     | 5,43     |     | 6,6    |     | 10,1          |     | 7,6    |     | 7            |    | 6,5               |      | 18,2           |      |      |
| Материало-<br>емкость, т.<br>на 1 га обл.<br>площади<br>в том числе: | 0,6                | 1,44 | 0,45  | 1,1 | 0,43   | 1   | 0,27     | 0,6 | 0,11   | 0,3 | 0,1           | 0,2 | 0,09   | 0,2 | 0,26         | 1  | 1,23              | 2,97 | 0,61           | 0,47 | 0,42 |
| насосная<br>станция                                                  | 0,06               |      | 0,03  |     | 0      |     | 0,03     |     | 0      |     | 0             |     | 0      |     | 0,04         |    | 0,18              |      | 0,05           |      |      |
| трубопро-<br>воды                                                    | 0,33               |      | 0,22  |     | 0      |     | 0,18     |     | 0      |     | 0             |     | 0      |     | 0,12         |    | 0,64              |      | 0,31           |      |      |
| дождеваль-<br>ная машина,<br>в том числе<br>трактор                  | 0,21               |      | 0,19  |     | 0,43   |     | 0,05     |     | 0,11   |     | 0,1           |     | 0,09   |     | 0,1          |    | 0,41              |      | 0,25           |      |      |

Продолжение таблицы 2

| 1                                                               | 2    | 3    | 4    | 5   | 6    | 7   | 8    | 9   | 10   | 11  | 12   | 13  | 14   | 15  | 16   | 17 | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   |
|-----------------------------------------------------------------|------|------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|----|------|------|------|------|------|
| Материало-<br>емкость, т<br>на 1 л/с<br>расхода<br>в том числе: | 0,44 | 1,43 | 0,34 | 1,1 | 0,26 | 0,8 | 0,33 | 1,1 | 0,1  | 0,3 | 0,08 | 0,3 | 0,08 | 0,2 | 0,15 | 0  | 0,7  | 2,28 | 0,61 | 1,96 | 0,31 |
| насосная<br>станция                                             | 0,04 |      | 0,02 |     | 0    |     | 0,04 |     | 0    |     | 0    |     | 0    |     | 0,02 |    | 0,10 |      | 0,05 |      |      |
| трубопро-<br>воды                                               | 0,24 |      | 0,17 |     | 0    |     | 0,23 |     | 0    |     | 0    |     | 0    |     | 0,07 |    | 0,37 |      | 0,31 |      |      |
| дождеваль-<br>ная машина,<br>в том числе<br>трактор             | 0,16 |      | 0,15 |     | 0,26 |     | 0,07 |     | 0,10 |     | 0,08 |     | 0,08 |     | 0,06 |    | 0,23 |      | 0,25 |      |      |
| Экономические показатели                                        |      |      |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |     |      |    |      |      |      |      |      |
| Стоим. обо-<br>рудования,<br>тыс. руб.<br>в том числе:          | 2773 | 1,59 | 3308 | 1,9 | 1200 | 0,7 | 2394 | 1,4 | 798  | 0,5 | 890  | 0,5 | 698  | 0,4 | 1438 | 1  | 1319 | 0,75 | 2654 | 1,52 |      |
| насосная<br>станция                                             | 400  |      | 400  |     | 0    |     | 360  |     | 0    |     | 0    |     | 0    |     | 400  |    | 360  |      | 360  |      |      |
| трубопро-<br>воды                                               | 1853 |      | 1708 |     | 0    |     | 1564 |     | 0    |     | 0    |     | 0    |     | 688  |    | 538  |      | 1624 |      |      |
| дождеваль-<br>ная машина,<br>в том числе<br>трактор             | 520  |      | 1200 |     | 1200 |     | 470  |     | 798  |     | 890  |     | 698  |     | 350  |    | 421  |      | 670  |      |      |

Продолжение таблицы 2

| 1                                                   | 2    | 3    | 4     | 5   | 6    | 7   | 8     | 9   | 10    | 11  | 12   | 13  | 14   | 15  | 16   | 17  | 18   | 19   | 20   | 21   | 22    |
|-----------------------------------------------------|------|------|-------|-----|------|-----|-------|-----|-------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|------|------|------|-------|
| Уд. стоим.<br>тыс. руб. на<br>1 га<br>в том числе:  | 41,9 | 1,48 | 36,8  | 1,3 | 10,9 | 0,4 | 23,9  | 0,8 | 13,3  | 0,5 | 8,9  | 0,3 | 8,7  | 0,3 | 20,5 | 1   | 82,4 | 2,9  | 36,4 | 1,28 | 28,4  |
| насосная<br>станция                                 | 6,05 |      | 4,44  |     | 0    |     | 3,6   |     | 0     |     | 0    |     | 0    |     | 5,71 |     | 22,5 |      | 4,93 |      |       |
| трубопро-<br>воды                                   | 28,0 |      | 19,0  |     | 0,   |     | 15,64 |     | 0     |     | 0    |     | 0    |     | 9,83 |     | 33,6 |      | 22,3 |      |       |
| дождеваль-<br>ная машина,<br>в том числе<br>трактор | 7,9  |      | 13,3  |     | 10,9 |     | 4,7   |     | 13,3  |     | 8,9  |     | 8,7  |     | 4,38 |     | 26,3 |      | 9,18 |      |       |
| Уд. стоим.<br>тыс. руб. на<br>1 л/с<br>в том числе: | 30,8 | 1,4  | 27,6  | 1,3 | 6,49 | 0,3 | 29,9  | 1,4 | 12,3  | 0,6 | 6,85 | 0,3 | 6,98 | 0,3 | 12,0 | 1   | 47,1 | 2,18 | 36,2 | 1,68 | 21,62 |
| насосная<br>станция                                 | 4,44 |      | 3,33  |     | 0    |     | 4,5   |     | 0     |     | 0    |     | 0    |     | 3,33 |     | 12,9 |      | 4,9  |      |       |
| трубопро-<br>воды                                   | 20,6 |      | 14,2  |     | 0    |     | 19,6  |     | 0     |     | 0    |     | 0    |     | 5,7  |     | 19,2 |      | 22,1 |      |       |
| дождеваль-<br>ная машина,<br>в том числе<br>трактор | 5,78 |      | 10,00 |     | 6,49 |     | 5,88  |     | 12,28 |     | 6,85 |     | 6,98 |     | 2,92 |     | 15,0 |      | 9,14 |      |       |
| Энергетические показатели                           |      |      |       |     |      |     |       |     |       |     |      |     |      |     |      |     |      |      |      |      |       |
| Затраты в<br>кВт, всего<br>в том числе              | 88,1 | 1,25 | 82,6  | 1,2 | 125  | 1,8 | 55,1  | 0,8 | 68    | 1   | 66   | 0,9 | 62   | 0,9 | 43   | 1   | 37,2 | 0,53 | 75,8 | 1,08 | 70,28 |
| на 1 га                                             | 1,33 | 1,27 | 0,92  | 0,9 | 1,14 | 1,1 | 0,55  | 0,5 | 1,13  | 1,1 | 0,66 | 0,6 | 0,78 | 0,7 | 0,61 | 0,1 | 2,33 | 2,22 | 1,04 | 0,99 | 1,05  |
| На 1 л/с рас-<br>хода воды                          | 0,98 | 1,23 | 0,69  | 0,9 | 0,68 | 0,9 | 0,69  | 0,9 | 1,05  | 1,3 | 0,51 | 0,6 | 0,62 | 0,8 | 0,36 | 0   | 1,33 | 1,68 | 1,03 | 1,31 | 0,79  |



Около десяти лет назад были предприняты попытки создания так называемых «малоэнергоёмких» и «низконапорных» дождевальных машин, в частности «Кубань ЛК 1». В разновидностях этих машин для фермерских хозяйств не изменялись заложенные в них конструктивные недостатки. Так, уменьшение конструктивной длины не только не улучшило удельные показатели материалоемкости и стоимости, а наоборот увеличило. Это особенно характерно для машин кругового действия. Данные выводы подтверждаются графиками на рис. 1 и 2.

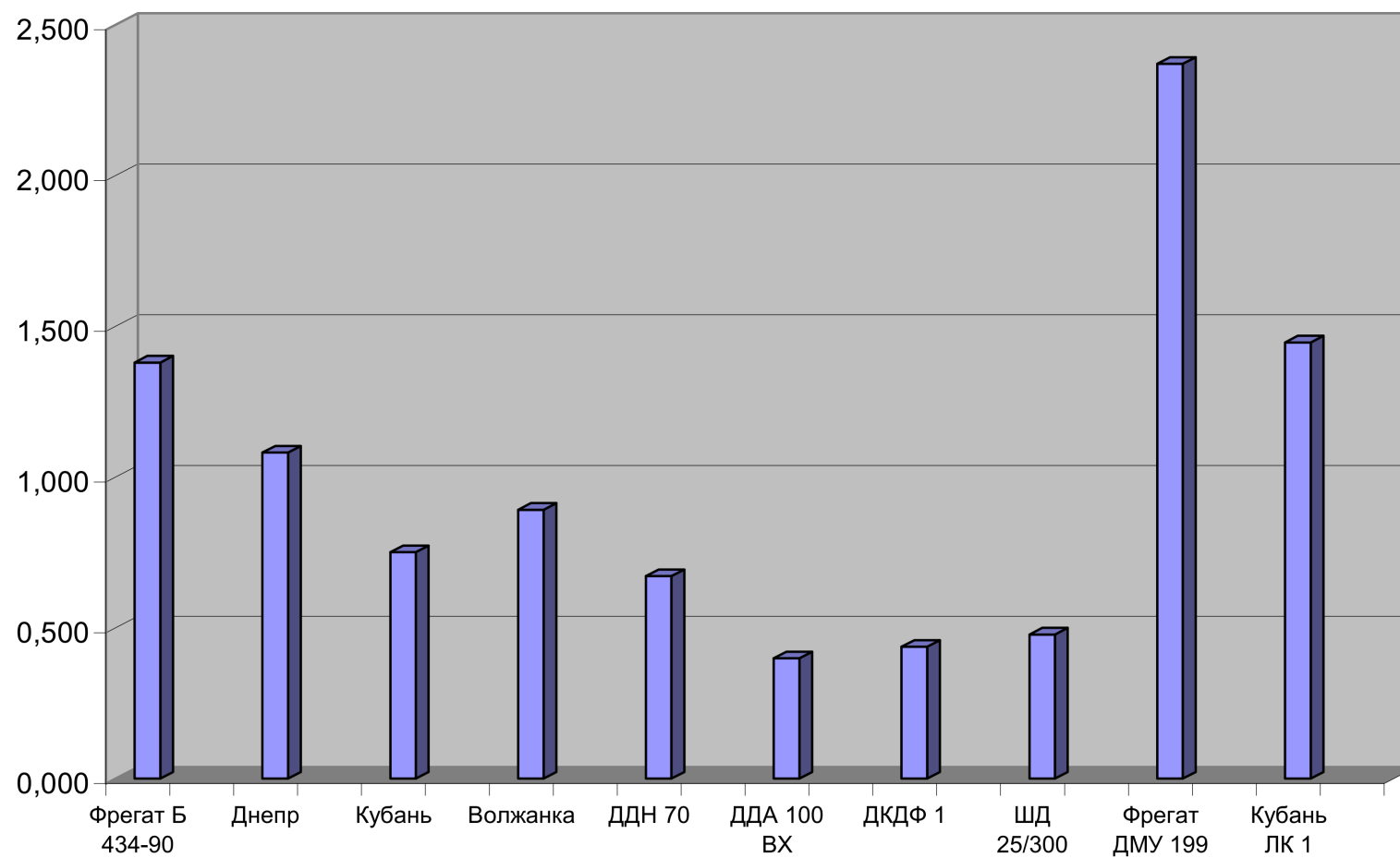
На основе литературных источников во многих передовых странах мира основные объёмы с.-х. продукции производят крупные товаропроизводители с использованием широкозахватной дождевальной техники.

Создание новой широкозахватной дождевальной техники требует значительного изменения как в конструктивном отношении, так и в применении новых материалов.

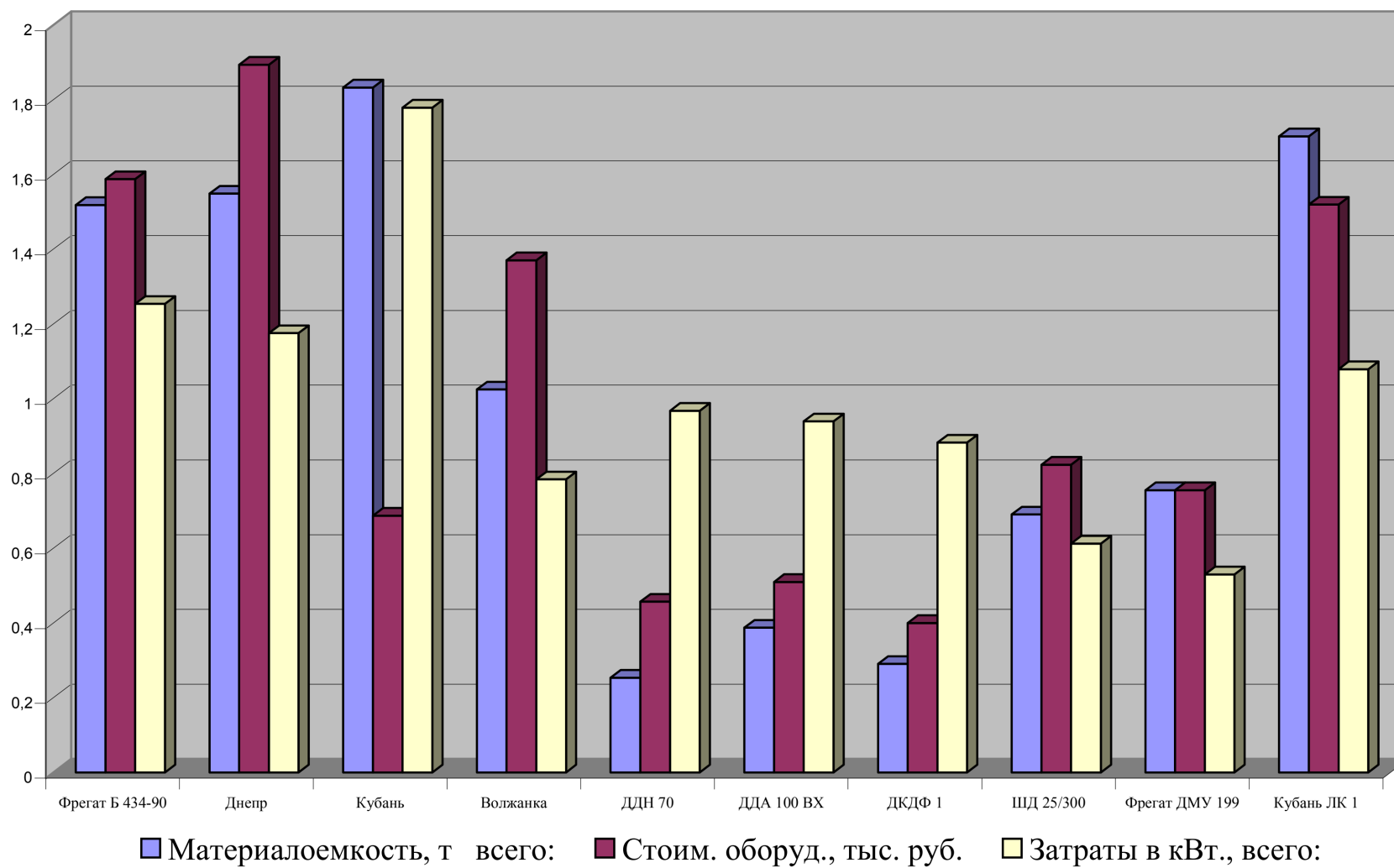
Анализируя характеристики дождевальных машин ДДН-70 и ДДА 100-ВХ, можно сделать вывод о том, что, имея хорошие показатели по материалоемкости и стоимости оборудования, дальнейшее развитие данного вида дождевальных машин следует вести в направлении уменьшения энергозатрат.

## **2.2 Совершенствование методики удельных показателей новой и эксплуатируемой поливной техники**

Существующая и разрабатываемая дождевальная техника требует более углубленной сравнительной оценки по определенным и вполне объективным показателям. В настоящее время такой комплексной оценки дождевальной техники не существует. Поэтому в ФГНУ «РосНИИПМ» разрабатывается методика комплексной оценки дождевальной техники, позволяющая выбирать наиболее эффективную технику из существующего ряда машин, с учетом природно-климатических условий проектируемого или реконструируемого орошаемого массива [104].



**Рис. 1. График относительных показателей серийных дождевальных машин**



**Рис. 2. График относительных показателей серийных дождевальных машин**

Оценку дождевальной техники предлагается проводить по трем показателям:

- ресурсным показателям;
- технологическим показателям;
- комплексным показателям (ресурсные плюс технологические).

В состав ресурсных показателей входят:

- технические (материалоемкость) в тоннах металла на 1 га и на 1 л/с расхода дождевальной техники;
- экономические, начальные капиталовложения в тыс. руб./га и в тыс. руб./л/с;
- энергетические, установленная мощность в кВт/час и в кВт/л/с.

При оценке по ресурсным показателям необходимо учитывать, что во всем мире разработано большое количество типов дождевальных машин, по способу забора воды для орошения они разделяются на два класса:

- дождевальные машины, работающие от открытой поливной сети;
- дождевальные машины, работающие от закрытой поливной сети.

Все дождевальные машины, работающие от открытой оросительной сети, обязательно имеют собственную энергоустановку. Дождевальные машины, работающие от закрытой оросительной сети, имеют коллективную энергоустановку (при групповой работе) и передают энергию воды, необходимую для образования дождя, и некоторые из них для перемещения по орошаемому участку, через закрытую напорную сеть.

Ресурсный показатель  $K_n^p$  определяется через значения удельных показателей: технического  $K_{yd}^{tex}$ , определяющего расход металла на 1 га орошаемой площади или л/с расхода дождевальной машины; экономического  $K_{yd}^{эо}$ , определяющего затраты на строительство (реконструкцию) орошаемого участка, обслуживаемого одной машиной, отнесенных к 1 га или к расходу 1 л/с; энергетического,  $K_{yd}^{эо}$ , определяющего установленную мощность, необходимую для обслуживания нормативной площади одной дождевальной машиной, отнесенной к 1 га орошаемой площади или к 1 л/с расхода ДМ.

Последовательность определения ресурсного показателя оценки существующей и проектируемой дождевальной техники заключается в следующей последовательности.

Все существующие типы дождевальных машин делятся на два класса: класс машин, работающих от закрытой оросительной сети, и класс машин, работающих от открытой поливной сети.

По каждому классу дождевальных машин определяются удельные показатели:

- по зависимости (т/га):

$$K_{уд.га}^{tex} = \frac{M}{F_K},$$

где  $M$  – расход металла на площадь, обслуживаемой одной машиной, т;  
 $F_K$  – нормативная площадь, обслуживаемая одной машиной, га;

- по зависимости (т/л/с):

$$K_{уд.л/с}^{tex} = \frac{M}{Q_n},$$

где  $Q_n$  – нормативный расход дождевальной машины, л/с.;

- по зависимости (тыс. руб./га):

$$K_{уд.га}^{эк} = \frac{C}{F_K},$$

где  $C$  – расчетная (сметная) стоимость строительства орошаемого участка, обслуживаемой одной машиной, в тыс. руб.;

- по зависимости (кВт/га):

$$K_{уд.л/с}^{эк} = \frac{C}{Q_n},$$

- по зависимости (тыс. руб./л/с):

$$K_{уд.га}^{эк} = \frac{N_y}{F_K},$$

где  $N_y$  – установленная мощность, необходимая для обслуживания одной дождевальной машины, кВт.

- по зависимости (кВт/л/с):

$$K_{уд.л/с}^{эк} = \frac{N_y}{Q_n}.$$

Результаты определения удельных показателей дождевальной техники приведены в табл. 3, 4.

В данных табл. 3, 4 выбираются минимальные значения, предполагая, что они будут в эталонной машине для своего класса.

Таблица 3

**Удельные показатели машин, работающих от закрытой сети**

| Марка ДМ      | Оценочные показатели |       |                  |                 |                |         |
|---------------|----------------------|-------|------------------|-----------------|----------------|---------|
|               | материалоемкость     |       | экономические    |                 | энергетические |         |
|               | т/га                 | т/л/с | тыс.<br>руб./га. | тыс.<br>руб/л/с | кВт/га         | кВт/л/с |
| «Фрегат» Б434 | 0,60                 | 0,44  | 41,95            | 30,81           | 1,33           | 0,98    |
| «Днепр»       | 0,41                 | 0,31  | 37,81            | 28,36           | 0,92           | 0,69    |
| «Волжанка»    | 0,27                 | 0,42  | 23,94            | 37,41           | 0,55           | 0,86    |
| «Кубань ЛК»   | 0,46                 | 0,42  | 33,18            | 31,76           | 0,80           | 0,72    |
| Шлейфы 25/300 | 0,61                 | 0,63  | 36,21            | 37,91           | 1,03           | 1,08    |
| Эталон        | 0,27                 | 0,31  | 23,94            | 28,63           | 0,55           | 0,69    |

Таблица 4

**Удельные показатели машин, работающих от открытой сети**

| Марка ДМ   | Оценочные показатели |       |                  |                 |                |         |
|------------|----------------------|-------|------------------|-----------------|----------------|---------|
|            | материалоемкость     |       | экономические    |                 | энергетические |         |
|            | т/га                 | т/л/с | тыс.<br>руб./га. | тыс.<br>руб/л/с | кВт/га         | кВт/л/с |
| «Кубань»   | 0,66                 | 0,33  | 23,18            | 13,78           | 1,14           | 0,68    |
| ДДН-70     | 0,13                 | 0,12  | 12,66            | 11,69           | 1,13           | 1,05    |
| ДДА-100 ВХ | 0,11                 | 0,09  | 8,94             | 6,88            | 0,66           | 0,51    |
| ДКДФ-1     | 0,16                 | 0,09  | 8,4              | 6,72            | 0,78           | 0,62    |
| Эталон     | 0,11                 | 0,09  | 8,4              | 6,72            | 0,66           | 0,51    |

Далее определяются относительные удельные показатели ( $q$ ) для каждого класса машин, как отношение текущего значения удельного показателя рассматриваемой реальной дождевальной машины к аналогичному удельному показателю фиктивной (идеальной) дождевальной машины соответствующего класса. Результаты заносятся в табл. 5, 6.

Таблица 5

**Относительные удельные показатели машин, работающих  
от закрытой сети (по ресурсным показателям)**

| Марка ДМ           | Относительные удельные показатели |                  |                 |                  |                 |                  |                  |                   |       |
|--------------------|-----------------------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|-------|
|                    | материало-<br>емкость             |                  | экономические   |                  | энергетические  |                  | $\sum q_i$<br>га | $\sum q_i$<br>л/с | $K_p$ |
|                    | $q_i/\text{га}$                   | $q_i/\text{л/с}$ | $q_i/\text{га}$ | $q_i/\text{л/с}$ | $q_i/\text{га}$ | $q_i/\text{л/с}$ |                  |                   |       |
| «Фрегат»<br>Б434   | 2,22                              | 1,42             | 1,75            | 1,09             | 2,42            | 1,42             | 6,39             | 3,93              | 10,32 |
| «Днепр»            | 1,52                              | 1,00             | 1,58            | 1,00             | 1,67            | 1,00             | 4,77             | 3,00              | 7,77  |
| «Волжанка»         | 1,00                              | 1,35             | 1,00            | 1,32             | 1,00            | 1,25             | 3,00             | 3,92              | 6,92  |
| «Кубань ЛК»        | 1,70                              | 1,35             | 1,39            | 1,12             | 1,45            | 1,04             | 4,54             | 3,51              | 8,05  |
| Шлейф ШД<br>25/300 | 2,36                              | 2,03             | 1,51            | 1,34             | 1,87            | 1,56             | 5,64             | 4,93              | 10,57 |
| Эталон             | 1,00                              | 1,00             | 1,00            | 1,00             | 1,00            | 1,00             | 3,00             | 3,00              | 3,00  |

Таблица 6

**Относительные удельные показатели машин, работающих  
от открытой сети (по ресурсным показателям)**

| Марка ДМ      | Относительные удельные показатели |                  |                 |                  |                 |                  |                  |                   |       |
|---------------|-----------------------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|-------|
|               | материалоем-<br>кость             |                  | экономические   |                  | энергетические  |                  | $\sum q_i$<br>га | $\sum q_i$<br>л/с | $K_p$ |
|               | $q_i/\text{га}$                   | $q_i/\text{л/с}$ | $q_i/\text{га}$ | $q_i/\text{л/с}$ | $q_i/\text{га}$ | $q_i/\text{л/с}$ |                  |                   |       |
| «Кубань»      | 6,00                              | 4,33             | 2,76            | 2,05             | 1,73            | 1,33             | 10,5             | 7,71              | 18,2  |
| ДДН-70        | 1,20                              | 1,33             | 1,51            | 1,74             | 1,71            | 2,06             | 4,42             | 5,13              | 9,55  |
| ДДА–100<br>ВХ | 1,00                              | 1,00             | 1,06            | 1,02             | 1,00            | 1,00             | 3,06             | 3,02              | 6,08  |
| ДКДФ-1        | 1,45                              | 1,00             | 1,00            | 1,00             | 1,18            | 1,25             | 3,63             | 3,21              | 6,84  |
| Эталон        | 1,00                              | 1,00             | 1,00            | 1,00             | 1,00            | 1,00             | 3,00             | 3,00              | 6,00  |

Суммируя значения относительных удельных показателей, приведенных к 1 га и к 1 л/с расхода по каждой ДМ рассматриваемого ряда машин по каждому классу, получаем комплексные показатели эффективности дождевальной техники относительно эталонных дождевальных машин по ресурсным показателям.

$$K_p = \sum q_i(\text{га}) + \sum q_i(\text{л/с}) .$$

Результаты расчетов заносятся в табл. 5, 6.

Чем выше абсолютные значения  $K_p$ , тем дождевальная машина менее эффективна и по ресурсным показателям дальше отстоит от эталонной машины, к которой мы должны стремиться при разработке новых дождевальных машин.

Данные табл. 5 показывают, что из дождевальных машин, работающих от закрытой сети, наиболее эффективны ДМ «Волжанка» и ДМ «Днепр». Наименее эффективны ДМ «Фрегат» и шлейфы ШД 25/300. ДМ «Кубань ЛК» занимает промежуточное значение между ДМ «Днепр» и ДМ «Фрегат».

Из машин, работающих из открытой сети (табл. 6), по ресурсным показателям наиболее эффективной и близкой к эталонной машине является ДМ ДДА-100 ВХ. Следующей за ней, по убывающей эффективности, идет ДМДКДФ-1. Наихудшие показатели по потреблению ресурсов, имеет ДМ «Кубань». Она является наиболее ресурсоемкой дождевальной машиной, работающей из открытой поливной сети.

Однако только ресурсные показатели еще не полностью характеризуют эффективность применения той или иной дождевальной техники. При оценке эффективности дождевальной техники очень важными являются технологические показатели. К наиболее важным технологическим показателям относятся:

- расход ДМ в л/с;
- уровень механизации и автоматизации, выражаемый через расход, управляемый одним человеком;
- производительность одной ДМ в га/ч при  $m=300 \text{ м}^3/\text{га}$ ;
- средняя интенсивность дождя в мм/мин;
- средневзвешенный диаметр капель, мм;
- коэффициент земельного использования, КЗИ.

Все эти показатели для существующих машин имеются в справочниках, а для вновь разрабатываемых машин устанавливаются по результатам полевых испытаний.

Основные технологические показатели существующей дождевальной техники приведены в табл. 7.

Выбираем оптимальные значения технологических показателей и заносим их в соответствующие графы эталонной машины.

Относительные технологические удельные показатели определяются в следующем порядке:

1. Определяются относительные удельные показатели расхода ДМ как частное от деления расхода эталонной ДМ на расход реальной ДМ:

$$K_{Q_{\text{отн}}} = \frac{Q_{\phi}}{Q}.$$

Физический смысл данного отношения — во сколько раз расход реальной ДМ меньше расхода эталонной ДМ.



Таблица 7

**Основные технологические показатели дождевальных машин**

| Марка ДМ      | Показатели          |                                   |                             |                   |                                        |                                                       |                                  |                                                             |      |
|---------------|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------|------|
|               | Материалоемкость, т | Стоимость оборудования, тыс. руб. | Энергетические затраты, кВт | Расход ДМ, Q, л/с | Средняя интенсивность дождя, j, мм/мин | Средневзвешенный диаметр капель, d <sub>ср</sub> , мм | Расход управляемый 1 чел. q, л/с | Производительность маш. /га. при m = 300 м <sup>3</sup> /га | КЗИ  |
| Фрегат Б 434  | 39,6                | 2773                              | 88,1                        | 100               | 0,28                                   | 0,8                                                   | 400                              | 1,17                                                        | 0,97 |
| Днепр         | 40,4                | 3308                              | 82,6                        | 120               | 0,30                                   | 0,95                                                  | 240                              | 1,44                                                        | 0,97 |
| «Кубань»      | 47,8                | 1200                              | 125                         | 180               | 1,10                                   | 0,60                                                  | 720                              | 2,10                                                        | 0,97 |
| Волжанка      | 26,7                | 2394                              | 55,1                        | 64                | 0,27                                   | 1,40                                                  | 180                              | 0,75                                                        | 0,97 |
| ДДН-70        | 6,6                 | 798                               | 68,0                        | 65                | 0,40                                   | 1,50                                                  | 65                               | 0,78                                                        | 0,95 |
| ДДА-100 ВХ    | 10,1                | 890                               | 66,0                        | 120               | 2,40                                   | 0,60                                                  | 60                               | 1,40                                                        | 0,95 |
| ДКДФ-1        | 7,6                 | 694                               | 62,0                        | 80                | 2,40                                   | 0,80                                                  | 40                               | 0,93                                                        | 0,95 |
| ШД 25/300     | 18                  | 1438                              | 43,0                        | 25                | 0,17                                   | 0,60                                                  | 100                              | 0,30                                                        | 0,93 |
| «Кубань ЛК 1» | 44,4                | 2654                              | 75,8                        | 90                | 0,30                                   | 0,60                                                  | 360                              | 0,82                                                        | 0,97 |
| Эталон        | 6,6                 | 694                               | 55,1                        | 180               | 0,17                                   | 0,6                                                   | 720                              | 2,10                                                        | 0,97 |

2. Определяются относительные удельные показатели расхода, управляемого одним человеком, обслуживающим ДМ:

$$K_{q_{отн}} = \frac{q_{\phi}}{q}.$$

3. Определяются относительные удельные показатели производительности ДМ при поливной норме  $m = 300 \text{ м}^3/\text{га}$ :

$$K_{\Pi_{отн}} = \frac{\Pi_{\phi}}{\Pi}.$$

Физический смысл перечисленных относительных показателей остается тот же, что указан в п. 1.

4. Определяются относительные удельные показатели значений интенсивности дождя:

$$K_{i_{отн}} = \frac{i}{i_{\phi}}.$$

5. Определяются относительные удельные показатели значений средневзвешенных диаметров капель дождя:

$$K_{d_{\phi_{отн}}} = \frac{d_{cp}}{d_{cp_{\phi}}},$$

где  $d_{cp}$  – средневзвешенный диаметр капель дождя реальной рассматриваемой дождевальной машины, в мм;

$d_{cp_{\phi}}$  – средневзвешенный диаметр капель дождя эталонной дождевальной машины, в мм.

Физический смысл показателей, приведенных в пунктах 4 и 5, – во сколько раз реальные значения показателей превышают аналогичные значения показателей эталонной дождевальной машины.

6. Определяются относительные удельные показатели коэффициентов земельного использования:

$$K_{KZI_{отн}} = \frac{KZI_{\phi}}{KZI}.$$

Обобщенный технологический показатель качества дождевальной машины определяется как сумма относительных удельных показателей рассматриваемой ДМ:

$$K_{\tau} = \sum K_{отн}.$$

Чем выше абсолютное значение  $K_T$  тем хуже ДМ по технологическим параметрам.

Результаты расчетов сведены в табл. 8.

Анализ значений показателей дождевальных машин по технологическим параметрам показывает, что эталонная ДМ имеет обобщенный показатель, равный 6, что соответствует дождевальным машинам, обладающим наилучшими показателями, присущим рассматриваемому ряду машин.

Наилучшими показателями по технологическим параметрам обладают ДМ «Фрегат». Снижение значения его обобщенного показателя по отношению к эталонной ДМ определяется большими значениями относительных коэффициентов расхода; расхода, управляемого 1 человеком и производительности одной машины.

Затем в возрастающих значениях обобщенных технологических показателей идут ДМ «Днепр» и ДМ «Кубань» ЛК-1, значения  $K_T$  которых соответственно равны 10,34 и 10,32. За ними следует ДМ «Кубань» ( $K_T = 11,4$ ), которая занимает четвертое место только за счет интенсивности дождя ( $K_{отн} = 6,4$ ). Если снизить ее интенсивность дождя до интенсивности ШД 25/300, то тогда ДМ «Кубань» по технологическим параметрам вошла бы в число идеальных машин.

Таким образом, настоящая методика позволяет не только установить иерархию уровня технологичности ДМ, но и определить пути их совершенствования.

Знание ресурсных и технологических показателей дождевальных машин позволяет установить комплексный показатель оценки существующей и проектируемой дождевальной техники, определяемый как сумма приведенных выше показателей. Значения комплексного показателя оценки дождевальной техники приведены в табл. 9.

Как видно из табл. 9, наименьшее значение комплексного показателя (18,11) имеет ДМ «Днепр», и поэтому по приоритетности эта машина находится на первом месте. На втором и третьих местах, соответственно, находятся ДМ «Кубань ЛК-1» и «Фрегат» Б 434. Остальные дождевальные машины расположились в убывающем порядке по мере роста значений комплексного показателя. За счет низких технологических показателей на последние места вышли ДДА-100 ВХ и ДКДФ-1.

Таблица 8

## Относительные удельные технологические показатели дождевальных машин

| Марка ДМ      | Относительные технологические удельные показатели |                                                 |                                |                                           |                                                 |                                              | Обобщенный технологический показатель,<br>$K_T = \sum K_{отн}$ |
|---------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
|               | коэф. расхода ДМ,<br>$KQ_{отн}$                   | коэф. расхода управляемый 1 чел.,<br>$Kq_{отн}$ | коэф. произв. маш., $Kp_{отн}$ | коэф. ср. интенсивности дождя, $Kj_{отн}$ | коэф. ср. взвеш. диаметра капель,<br>$Kd_{отн}$ | коэф. земельного использования, $Kkзи_{отн}$ |                                                                |
| Фрегат Б 434  | 1,82                                              | 1,79                                            | 1,79                           | 1,65                                      | 1,33                                            | 1,00                                         | 9,38                                                           |
| Днепр         | 1,50                                              | 3,03                                            | 1,47                           | 1,76                                      | 1,58                                            | 1,00                                         | 10,34                                                          |
| «Кубань»      | 1,00                                              | 1,00                                            | 1,00                           | 6,40                                      | 1,00                                            | 1,00                                         | 11,40                                                          |
| Волжанка      | 2,86                                              | 4,00                                            | 2,78                           | 1,59                                      | 2,33                                            | 1,00                                         | 14,56                                                          |
| ДДН-70        | 2,78                                              | 1,85                                            | 2,70                           | 2,35                                      | 2,50                                            | 0,98                                         | 13,16                                                          |
| ДДА-100 ВХ    | 1,50                                              | 12,50                                           | 1,50                           | 14,10                                     | 1,00                                            | 0,98                                         | 31,58                                                          |
| ДКДФ-1        | 2,27                                              | 20,00                                           | 2,27                           | 14,10                                     | 1,33                                            | 0,99                                         | 40,96                                                          |
| ШД 25/300     | 7,14                                              | 7,14                                            | 7,14                           | 1,00                                      | 1,00                                            | 0,90                                         | 24,38                                                          |
| «Кубань ЛК 1» | 2,00                                              | 2,00                                            | 2,56                           | 1,76                                      | 1,00                                            | 1,00                                         | 10,32                                                          |
| Эталон        | 1,00                                              | 1,00                                            | 1,00                           | 1,00                                      | 1,00                                            | 1,00                                         | 6,00                                                           |

Таблица 9

**Значения комплексного показателя оценки  
существующей дождевальной техники**

| Марка ДМ      | Ресурсные относ. уд. показатели Кр | Технологические относ. удельные показатели Кt | Комплексный показатель К | Место в ряду эффективности |
|---------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Фрегат Б 434  | 10,32                              | 9,38                                          | 19,70                    | 3                          |
| Днепр         | 7,77                               | 10,34                                         | 18,11                    | 1                          |
| «Кубань»      |                                    |                                               |                          |                            |
| Волжанка      | 6,92                               | 14,56                                         | 21,48                    | 4                          |
| ДДН-70        | 9,55                               | 13,16                                         | 22,71                    | 5                          |
| ДДА-100 ВХ    | 6,08                               | 31,58                                         | 37,66                    | 8                          |
| ДКДФ-1        | 6,84                               | 40,96                                         | 47,80                    | 9                          |
| ШД 25/300     | 10,57                              | 34,38                                         | 34,95                    | 7                          |
| «Кубань ЛК 1» | 8,05                               | 10,32                                         | 18,37                    | 2                          |
| Эталон        | 6,00                               | 6,00                                          | 12,00                    |                            |

Следовательно, разработанная методика позволяет создать по значениям комплексных показателей шкалу оценки дождевальной техники, позволяющую определить пути совершенствования дождевальной техники.

Анализ приведенных данных позволяет определить основные недостатки применяемой поливной техники:

- большую металлоемкость и материалоемкость дождевальных машин;
- почти все дождевальные машины трудно монтируются, демонтируются, поэтому многие из них на зимний период остаются в поле. Этот факт, наряду с использованием при их изготовлении цветных металлов, резко снижает их сохранность;
- энергоемкость и использование для работы закрытой (в грунте) напорной подводящей сети;
- необходимость привлечения для эксплуатации, монтажа и демонтажа дождевальных машин высококвалифицированных специалистов или специализированных организаций.

### **2.3 Направления совершенствования поливной техники**

В 90-х годах прошлого века были предприняты попытки создания так называемых малоэнергоемких и низконапорных дождевальных машин на основе ДМ "Фрегат" и ДМ "Кубань". В разновидностях этих машин для фермерских хозяйств не изменялись заложенные

в них порочные конструктивные особенности. Уменьшение конструктивной длины не только не улучшило удельные показатели энергоёмкости, а наоборот, увеличило. Это особенно характерно для машин кругового действия. Потребность в высококвалифицированных специалистах по обслуживанию ДМ осталась, что не всегда возможно в современных условиях.

В силу вышеуказанных экономических и других причин, большая часть орошаемых земель с использованием закрытого трубопровода и широкозахватных ДМ вышла со строя и требует реконструкции. Восстановление орошаемых земель по старой схеме приведет к значительным капитальным вложениям. Стационарные насосные станции в большинстве случаев пришли в негодность или вообще прекратили свое существование [12, 38].

В практике орошения применялись и другие типы поливной техники. В частности, передвижные насосные станции, быстросборные трубопроводы и другое мобильное поливное оборудование. Опыт их использования показал, что в большинстве случаев реконструкция оросительных систем с применением мобильного поливного оборудования более рациональна. Использование передвижных насосных станций и быстросборных полимерных трубопроводов, в сочетании с дождевальными машинами или установками нового поколения, дает возможность реконструировать и ввести в строй действующие оросительные системы на площадях от 100 до 1000 гектар [69].

Применение мобильного поливного оборудования сокращает длительный период изысканий, исследований, проектирования и утверждения проектно-сметной документации, в конечном счете, упрощает и удешевляет реконструкцию и строительство оросительных систем. Все оросительное оборудование, в том числе и передвижные насосные станции, в межполивной период убираются с полей на базовое предприятие, что позволяет в зимний период проводить качественный ремонт и увеличивает его сохранность.

Дальнейшее высокоэффективное развитие поливной техники должно базироваться на разработке и освоении гибких технологий, основанных на сочетании комплексных конструкций. Реализуются они с помощью унифицированных модульных технических узлов и средств многоцелевого использования с замкнутыми и полужамкнутыми системами и системами управления, обеспечивающими эконо-

мически обоснованные затраты при производстве сельскохозяйственных культур. В первую очередь речь идет о создании блок-модулей с использованием поливных машин нового поколения, которые за счет снижения металлоемкости и энергоемкости позволят сделать их доступными для широкого круга сельхозпроизводителей.

Стратегия дальнейшего развития поливной техники должна вестись по следующим направлениям:

- модернизация существующей поливной техники, в том числе с использованием модульных схем в виде мобильных сборно-разборных поливных установок;

- разработка, производство и введение в хозяйственный оборот АПК техники нового поколения с существенно более высокими технико-экономическими параметрами. При этом должны быть значительно (до 30-50 %) уменьшены металло-, материало- и энергоемкость. В процессе создания новых поливных машин должны использоваться современные материалы;

- организация новых механизированных технологий и форм организации использования поливной техники как человеко-машинных систем, что является основой вывода сельскохозяйственного производства на общественно необходимые объемы производства отечественного продовольствия и его конкурентоспособность.

При реконструкции орошаемых площадей необходимо восстанавливать участки с открытой оросительной сетью как наименее энергоемкие и материалоемкие оросительные системы.

При этом предполагается, что производство сельскохозяйственной продукции должно быть обеспечено, в основном, крупными сельскохозяйственными товаропроизводителями, а продуктивность орошаемых полей должна быть не ниже экономически целесообразного уровня производства сельскохозяйственной продукции для условий каждого товаропроизводящего региона страны [80, 106].

Модернизация существующей техники предполагает:

- замену дорогостоящих узлов и деталей из цветных металлов на более дешевые и изнosoустойчивые;

- усовершенствование систем перемещения, управления, защиты с целью уменьшения энергопотребления;

- перевод широкозахватной поливной техники на работу из открытой или мобильной оросительной сети.

При разработке техники нового поколения следует придерживаться следующих основных направлений:

- повышение производительности;
- уменьшение материалоемкости и энергопотребления на 1 литр организованного расхода и 1 га орошаемой площади;
- исключение кадровых ограничений;
- расширение унификации узлов и деталей.

Организация новых технологий и форм организации использования поливной техники заключается в следующем:

- развитие сервисной службы;
- разработка новых технологий орошения.

Развитие сервисной службы можно разделить на 3 группы, которые могут работать в одной инфраструктуре:

- технический сервис поливной техники (техобслуживание, ремонт и т.д.);
- формирование вторичного рынка поливной техники (покупка, ремонт, продажа или сдача в прокат);
- формирование машинно-технологических станций (МТС).

Для повышения эффективности использования поливной техники целесообразна разработка новых технологий орошения, предусматривающая:

- простые технологии (для использования в хозяйствах с низкой доходностью, слабым кадровым обеспечением, использующих поливную технику с рынка вторичного использования);
- интенсивные технологии (для хозяйств с постоянно орошаемой площадью не менее 500 га);
- высокоинтенсивные технологии (для крупных специализированных хозяйств).

Для реализации поставленных технических задач совершенствования поливной техники потребуются концептуальное изменение существующей идеологии в части организации производства, реализации и сервисного обслуживания новой поливной техники. Наиболее вероятной основой для этого процесса может послужить федеральная целевая программа «Поливная техника России – XXI век».

Целью программы является определение и реализация государственной политики технического перевооружения АПК России в области поливной техники для различных способов орошения.



Задачами программы являются:

- определение приоритетных направлений развития поливной техники на перспективу до 2020 года в зависимости от способов полива, рекомендуемых мелко- и крупнотоварным сельхозпроизводителям;

- разработка принципов государственной поддержки и регулирования технического перевооружения АПК России в области поливной техники для различных способов орошения;

- выработка критериев планирования производства новой поливной техники с учетом развития экономической ситуации в АПК России;

- определение организационных основ создания системы сервисного обслуживания поливной техники.

Учитывая необходимость практической конкретизации положений федеральной целевой программы, ее структура должна состоять из системы программных документов логически объединенных видом планируемых мероприятий. Основными из них могут быть следующие подпрограммы:

- 1) «Обеспечение потребностей АПК России в поливной технике»;
- 2) «Критерии совершенствования поливной техники с учетом ее использования сельхозпроизводителями»;

- 3) «Мероприятия по организации производства перспективной, технически совершенной поливной техники»;

- 4) «Принципы государственной инвестиционной политики в организации производства, реализации и сервисного обслуживания поливной техники»;

- 5) «Организационные основы создания системы сервисного обслуживания поливной техники»;

- 6) «Нормативное, правовое и научно-техническое обеспечение реализации программы».

Разработка программных документов должна вестись с учетом потребностей субъектов Российской Федерации в поливной технике и существующих возможностей машиностроительной промышленности России.

Для реализации этих положений необходимо проведение маркетинговых исследований среди перспективных потребителей поливной техники, выявление основных тенденций развития потребительского

спроса и определение на их основе направлений дальнейшего технического совершенствования поливных машин. Подготовка таких материалов должна проводиться регионами под руководством Минсельхоза России и уполномоченного координатора-разработчика федеральной целевой программы.

Определение возможностей машиностроительной промышленности России, в части производства технически совершенной поливной техники, а также перспектив привлечения к этому процессу научно-исследовательских и водохозяйственных организаций системы Минсельхоза России, должно проводиться непосредственно разработчиком федеральной целевой программы. Критерии анализа – стоимость поливных машин при достаточных технических характеристиках, возможности организации мелкосерийного производства при обеспечении сервисного обслуживания в течение всего срока службы, простота в эксплуатации.

При создании системы сервисного обслуживания требуется обеспечение неразрывной связи с производителями поливных машин. В современных условиях реализация этой части целевой программы является одной из наиболее сложных организационно-технических задач. Наиболее реальный путь – создание сети сервисных пунктов при территориальных эксплуатационных организациях. Для обеспечения государственного контроля и надзора за техническим состоянием поливных машин целесообразно привлечение органов Гостехнадзора Минсельхоза России.

Государственная инвестиционная политика в организации производства, реализации и сервисного обслуживания поливной техники должна строиться на принципах максимальной государственной поддержки сельхозпроизводителей в вопросах приобретения поливной техники и водохозяйственных организаций в вопросах совершенствования оросительных систем, включая строительство новых, при четком государственном регулировании использования инвестиций из средств бюджета всех уровней.

Принципиально важно строить инвестиционную политику на основе сочетания частных инвестиций и льгот, предоставляемых сельхозпроизводителям, приобретающим поливную технику. Рациональным вариантом следует считать предоставление льгот в виде снижения или погашения кредитов в случае существенного повышения

урожайности на орошаемых землях, где используется вновь приобретенная поливная техника. При этом сельхозпроизводитель должен практически выполнять рекомендации государства по производству необходимых сельскохозяйственных культур.

Водохозяйственным эксплуатационным организациям должна оказываться государственная поддержка при проведении реконструкции и строительстве новых оросительных систем, требующих значительных материальных и финансовых затрат. Как правило, объектами инвестиций должны являться крупные гидротехнические сооружения, магистральные каналы, насосные станции и т.п., имеющие региональное значение. Способы инвестирования могут быть разные, но главное условие их выделения заключается в перспективной окупаемости вложенных финансовых средств [84].

Нормативное, правовое и научно-техническое обеспечение предусматривает решение комплекса задач. Нормативное и правовое обеспечение предполагает разработку ряда документов, регламентирующих: статус поливной техники как техники, подконтрольной Гостехнадзору Минсельхоза России; агротехнические требования к характеристикам поливной техники с учетом ее использования частными сельхозпроизводителями; правила и порядок эксплуатации техники при использовании вновь создаваемых сервисных центров и т.п.

Научно-техническое обеспечение развития поливной техники и соответствующих способов полива должно включать следующие направления работ: определение оптимальной номенклатуры и типажа поливной техники для различных условий использования; совершенствование агротехнических характеристик машин, создание новых конструкций поливных агрегатов с учетом изменяющейся ситуации в агропромышленном комплексе и т.д.

В техническом отношении роль науки заключается в практической апробации новых разработок машиностроения, разработке методов и средств оперативной диагностики состояния и эффективности эксплуатации поливных машин, поиску возможностей улучшения технических характеристик узлов и агрегатов.

Реализация федеральной целевой программы потребует создания соответствующего экономического механизма, обеспечивающего финансирование планируемых работ, активизацию инвестиционного и инновационного процессов. С учетом перехода эксплуатационных

водохозяйственных организаций на самоокупаемость, которая сама по себе является сложной проблемой, потребуется организация их четкой взаимосвязи с частными сельхозпроизводителями. Наиболее рационально обеспечение таких взаимосвязей через государственные органы управления АПК России (использование регулирующей роли Минсельхоза России). Это потребует разработки пакета нормативных, правовых, организационно-распорядительных, инструктивных и других документов, обеспечивающих практическое функционирование механизма реализации программы.

Существенным аспектом формирования механизма реализации программы является обучение кадров, соответствие кадрового состава отрасли современным требованиям, умению решать актуальные технологические, технические, экономические, правовые задачи отрасли на современном уровне. Приоритетными мероприятиями по улучшению подготовки специалистов являются совершенствование системы подготовки и переподготовки профессиональных кадров, обучение новым специальностям, воссоздание на новом уровне системы переподготовки кадров отрасли [104].

Единство системы подпрограмм обеспечивается единством программных целей и централизацией планирования и управления финансовыми средствами, выделяемых на реализацию программных мероприятий. Большое значение здесь имеет создание и развитие единой системы государственного мониторинга (контроля и надзора состояния поливной техники и эффективности ее использования), единой системы государственных информационных ресурсов, единой научно-методологической, нормативной и правовой основы деятельности исполнителей программы в рамках региона.

Государственным заказчиком федеральной целевой программы должен выступать Минсельхоз России, его региональные и территориальные подразделения. Распределение бюджетных инвестиций по этапам реализации программы должно уточняться при рассмотрении ежегодных бюджетных заявок. При необходимости государственные заказчики могут вносить предложения о корректировке сроков реализации программных мероприятий.

## **2.4 Основные этапы обновления парка поливной техники**

Основное внимание, усилия и все имеющиеся средства в настоящее время необходимо направить на ревизию оросительных систем и поливной техники. Такая работа проводится периодически региональными структурами орошаемого сектора АПК России и должна:

- определить потребность в поливных землях, в том числе и механизированных поливных участков;
- провести инвентаризацию насосных станций (в том числе как стационарных, так и передвижных) по основным техническим характеристикам;
- провести техническое обследование подводящей закрытой и открытой оросительной сети;
- установить реальное техническое состояние каждой единицы поливной техники, включая и технику, неучтенную в кадастре и иных отчетных документах, находящуюся в частной собственности, в фермерских хозяйствах, на мелких (60-100 га) оросительных системах, не входящих в статистическую отчетность. Необходимо также учесть и поливную технику, которая находится в нерабочем состоянии, но имеющую в наличии базовые узлы и агрегаты, пригодные для ремонта других машин.

Анализ общего состояния орошаемого сектора АПК России, как и проблем парка поливной техники регионов, позволит выделить несколько этапов обновления:

Первый этап (3-5 лет) включает ближайшие действия по улучшению технической оснащенности орошаемого сектора АПК России поливной техники. На этом этапе не следует ожидать крупных изменений в структуре производства и эксплуатации поливной техники. В основном будут изготавливаться, и применяться машины существующих конструкций. Однако некоторые из них могут быть модернизированы для улучшения качества работы, снижения материалоемкости, упрощения конструкции без снижения технологических возможностей, возможности перевода их на автономную работу, повышения надежности и т.д.

Такая техника должна быть конкурентоспособной на отечественном рынке по ценовым характеристикам и обеспечивать поддержание уровня механизации полива в основном в хозяйствах с низкой экономикой производства.

Реализация этих мер позволит использовать существующие оросительные системы на их существующем техническом уровне, вернуть в строй действующих, недавно законсервированные по причине отсутствия технических средств полива орошаемые участки. Кроме того, это позволит стабилизировать экономику сельскохозяйственных предприятий, использующих орошение.

Основной задачей этих лет для научно-исследовательских и опытно-конструкторских учреждений должно быть резкое ускорение работ по созданию принципиально новой поливной техники отечественного производства, предусмотренной Федеральной системой технологий и машин и перечнем приоритетной техники, утвержденным Минпромнауки России и Минсельхозом России на 2004-2008 гг. Этот этап является периодом ускоренной подготовки интенсификации отрасли.

Второй этап (5-10 лет) – начало производства приоритетной поливной техники для сельского хозяйства на отечественных предприятиях. Он будет происходить параллельно с производством модернизированной техники предыдущего поколения. Предполагается, что поскольку приоритетная поливная техника будет производиться и приобретаться по более высокой стоимости, но и с более высокой их технологической надежностью и производительностью, она вначале будет приобретаться предприятиями с высоким уровнем доходности, а также предприятиями, поддерживаемыми инвесторами.

Приоритетные машины и оборудование. В этом периоде предусмотрено создать и поставить на производство основные приоритетные машины и оборудование предусматривающие:

- в области широкозахватной поливной техники создание:
  - дождевальных машин модульного типа;
  - работающие от стационарной и мобильной оросительной сети;
  - все технологические операции, в том числе создание напора, перемещения и т.д., должны выполняться с использованием одного энергоносителя;
  - широкий диапазон (не менее трех) дождеобразующих устройств;
  - расход дождевальной машины в зависимости от направления движения (фронтальный, круговой или продольный) не должен превышать 10-50 л/с на 100 м длины крыла;

- автоматизация основного технологического процесса;
- возможность внесения различного вида удобрений и проведения химических обработок;
- уменьшение требований к техническому уровню обслуживающего персонала;
- исключение применения дорогостоящих цветных металлов;

в области дождевальных агрегатов создание:

- агрегатов навесного и прицепного типа;
- работающих с тракторами различного класса;
- агрегатов с гибкими трубопроводами;
- расход дождевального агрегата в зависимости от площади мгновенного полива не должен превышать 7-8 л/с на 10 м длины крыла;

- возможность внесения различного вида удобрений и проведения химических обработок;

- широкий диапазон (не менее трех) дождеобразующих устройств;

- обслуживающий персонал при выполнении основного цикла не должен превышать одного человека на агрегат;

в области поливной техники для поверхностного полива создание:

- поливных агрегатов навесного и прицепного типа;
- приспособления для перевода дождевальных машин и агрегатов на поверхностный полив;
- гибких трубопроводов;
- быстроразборных трубопроводов;
- телескопических трубопроводов.

Общее направление Концепции обновления парка поливной техники на втором этапе должно преследовать цель – создание зональных технологических комплексов для высокоэффективных технологий орошения.

Третий этап (10-15 лет). После выполнения второго этапа к следующему периоду будут созданы новые технические средства орошения, реализующие новые технологии, обеспечивающие технико-экономические параметры эффективного производства сельскохозяйственной продукции в орошаемом секторе АПК России. Поэтому на третьем этапе ставится задача создания интеллектуальной поливной

техники за счет качественно нового уровня автоматизации. К этому периоду сама механическая система должна быть подготовлена к этой работе, а именно:

первое – все создаваемые технические средства полива, особенно сложные и высокопроизводительные, должны иметь высокую техническую и технологическую надежность;

второе – поливная техника должна быть оснащена системами автоматизации, которые представляют собой базу или нижний уровень в многоуровневой системе интеллектуальной, т.е. самоконтролирующейся поливной техникой;

третье – создание крупных многооперационных поливных моноблоков, представляющих собой новые мобильные технологические агрегаты. Они должны служить основой для обеспечения эффективной организационно-экономической базы, на которой должны быть созданы автоматизированные и даже автоматические процессы орошения. К ним можно отнести автоматическое вождение поливных моноблоков, саморегуляцию поливных норм, дифференцирование внесения удобрений, средств защиты растений и т.д.

Стоимость парка поливной техники нового поколения оценивается суммой около 3-6 млрд руб. ежегодно. Прогнозируется, что реализовать эту цель возможно к 2015-2017 гг., то есть за 12-15 лет. Все будет определяться, в конечном итоге, покупательной способностью сельских товаропроизводителей.

Конечным результатом реализации программы будет являться интенсификация и обновление парка поливной техники, что позволит эффективнее использовать орошаемые земли, и как результат, удвоение валового производства продукции сельского хозяйства. Удастся повысить объем реализации продукции сельскохозяйственными предприятиями до 100-110 млрд руб. При прогнозируемой рентабельности (20 %) из полученной прибыли на обновление парка машин может быть направлено ежегодно до 6 млрд руб. (около 25-30 % прибыли). До 3 млрд руб. составят амортизационные отчисления предприятий, направляемые на приобретение техники.

На первом этапе все источники финансирования инженерно-технической сферы не превысят 3-4 млрд руб.

Источниками финансового обеспечения будут:

- собственные средства сельхозтоваропроизводителей;



- бюджеты федерального и региональных уровней;
- инвестиции частных внутренних и внешних структур.

На этапе освоения новой технической политики в области орошения важно изыскать стартовые средства. Они связаны, прежде всего, с участием государства в финансировании опытно-конструкторских работ, постановке на производство и приобретение базовой техники нового поколения. Эти затраты оцениваются по минимуму в 150-200 млн руб. в год.

Должны возрасти кредиты банков, которые в будущем составят основную долю заемных средств на приобретение техники.

Для устойчивого обеспечения потребности орошаемого сектора АПК в новой технике необходимо к 2007 г. стимулировать государственные лизинговые компании, что позволит устойчиво работать без дополнительного бюджетного финансирования на возвратных лизинговых платежах, которые ежегодно будут составлять до 1 млрд руб. На развитие финансового лизинга из бюджетов субъектов Российской Федерации целесообразно направлять не менее 1-2 млрд руб. в год. Для повышения заинтересованности сельских товаропроизводителей в пользовании лизингом техники следует найти эффективные решения по снижению стоимости машин, приобретаемых на этой основе. Важно сделать лизинг достоянием и экономически убыточных хозяйств, которые сейчас отстранены от него.

Группе хозяйств с невысоким уровнем прибыльности потребуются внутренние инвестиции или финансовый лизинг. Для освоения новой техники, реализующей интенсивные технологии, этим хозяйствам (их около 40 %) потребуется не менее 10-12 лет.

Слабые, в настоящее время убыточные хозяйства даже после реструктуризации, прогнозно, многие годы будут работать в основном по упрощенным технологиям на технике устаревших конструкций, в т.ч. приобретенной на вторичном рынке. Развитие этих производств видится в интеграции их с более сильными предприятиями на базе формирования агропромышленных корпораций, комбинатов, более привлекательных для инвесторов.

Подъем убыточных хозяйств (их порядка 40-45 %) возможен также с помощью МТС, положительный опыт работы которых уже накоплен в России. Многие из них оснащены современной техникой ведущих мировых машиностроительных фирм и обеспечивают высоко-

эффективное использование машин на арендуемой земле убыточного хозяйства (или выполняют работы по контракту). МТС становится носителем в сельское хозяйство высокорентабельных технологий.

МТС – наиболее эффективная и надежная по возвратности схема инвестиций (внешних и внутренних) в сельское хозяйство. Через эту структуру наиболее выгодно осваивать в России новые технологии и технику. Внимание внутренних инвесторов, например банков, металлургии, перерабатывающих предприятий, к схеме МТС в последние годы заметно усилилось.

Более широкому привлечению инвесторов в сельское хозяйство может способствовать возрастающая роль бизнес-проектирования машинных технологий, разработки инновационных и инвестиционных проектов, позволяющих заинтересовать инвесторов во вложении капитала именно в сельское хозяйство, которое является экономически более выгодным, чем другие отрасли экономики.

### **3 РАЗРАБОТКА СЕРИИ ДОЖДЕВАТЕЛЕЙ КОНСОЛЬНЫХ ФРОНТАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ**

#### **3.1 Требования к качеству технологического процесса дождевания**

Дальнейшее широкое развитие полива сельскохозяйственных культур дождеванием в различных районах страны зависит главным образом от внедрения дождевальных машин, позволяющих автоматизировать процесс полива, регулировать интенсивность дождя в пределах, определяемых впитывающей способностью почвы, обеспечивая полив, не сопровождающийся образованием поверхностного стока и луж, приводящих к образованию корки или эрозии почв, а также экономии воды и труда.

С переходом нашей страны в условия рыночной экономики, стала проблема поиска путей рациональной эксплуатации гидромелиоративных систем и мелиорированных земель попала в разряд важнейших. Весьма актуальным стало решение задачи усовершенствования технического уровня поливной техники.

В этих условиях большое значение приобретает вопрос об эффективном использовании дождевальной техники, повышении качества технологического процесса дождевания. Главными показателями

качества работы поливной техники служат равномерность распределения воды по орошаемой площади без образования поверхностного слоя и сохранения структуры почвы, а также динамическое воздействие капель искусственного дождя на почву и растения. При этом целесообразно поливную норму выдать в возможно более сжатые сроки.

На основании анализа технического состояния парка дождевальных машин Ростовской области и тенденции его восстановления был сделан вывод, что наиболее быстро восстанавливаемыми являются орошаемые участки с поливной техникой, работающей из открытых оросителей и с автономными энергоносителями. К таким дождевальным машинам можно отнести ДДА-100МА и ДДА-100ВХ. Имея относительно высокие показатели по мобильности, структуре дождя и работающие с забором воды из открытых оросителей, данные дождевальные машины однако не в полной мере отвечают особенностям орошения с.-х. культур Ростовской области, оказывая высокое механическое воздействие на почву и растения.

Технологический процесс дождевания, как известно, включает: определение безвозвратных потерь воды, выдачу требуемой поливной нормы до образования луж и стока воды на поверхности почвы и коэффициент использования дождевальной машины, которые зависят от особенностей природно-хозяйственных условий, типа сельскохозяйственных культур, климата рассматриваемой местности, ветровой активности и формирования почв.

Скорость и направление ветра определяют величину расстояния между оросителями и площади полива при работе дождевальных машин фронтального действия. Она очень непостоянна как по величине, так и по направлению, и имеет пульсирующий характер [8].

Одной из важных характеристик ветра является его повторяемость – это суммарное число часов за год, месяц или за декаду, выраженное в процентах от общего времени, в течение которого в данном пункте наблюдалась одинаковая скорость ветра. Повторяемость скорости ветра легко находится по таблицам Поморцева и др. или по соответствующим кривым [78].

Очень важно, что скорость ветра меняется по высоте. Это следует учитывать при изучении технологии дождевания, пользуясь кривой изменения относительных величин скоростей ветра по относительной высоте, если известна скорость ветра на какой-нибудь высоте.

Потери дождя на испарение можно определить разными методами. В одном из них используется разница между объемом воды, поданным в дождевальную машину, и осадками, выпавшими на поверхность почвы в процессе полива. В полевых условиях ряд исследователей [42, 66] использовали химический метод. Это способ определения потерь воды на испарение по степени возрастания концентрации катионов натрия в поливной воде при достижении ею поверхности почвы, в сравнении с концентрацией воды, выходящей из дождевателя. Концентрация катионов натрия в поливной воде определяется на пламенном фотометре [101].

Определение потерь воды на испарение в полевых условиях требует много времени и больших затрат труда. Поэтому многие исследователи стремятся определять потери воды на испарение расчетным методом или при помощи номограмм [102].

Полученные данные свидетельствуют о большой величине испарения воды в дневное время. Поэтому многие исследователи указывают, что более благоприятно производить поливы дождеванием в ночное время.

Величина поливных норм и глубина промачивания почв, до образования стока воды, при дождевании зависит:

- от средней интенсивности дождя;
- крупности капель дождя;
- водопроницаемости почв;
- предполивной влажности почв;
- уклона поливаемой площади и т.д.

Еще А.Н. Костяков отмечал, что при дождевании важным является вопрос о структуре и интенсивности искусственного дождя. Эти параметры регламентируются агротехническими требованиями на дождевальные машины [21, 22].

Так, по данным исследований Дадио, Валлендер [26], направленных на определение размера капель дождя и выявление характера его распределения, установлено, что во всех случаях с увеличением расстояния от дождевального аппарата размер капель дождя возрастал.

Однако известно, что средняя интенсивность дождя у всех типов дождевальной техники находится в пределах 1,0-3,0 мм/мин. В то же время дождь, создаваемый разными машинами, оказывает различное влияние на почву с точки зрения впитывания воды, разрушения поч-

венных агрегатов, образования луж и стока. Раджаб [81], изучая, влияние размеров капель дождя, установил, что время образования поверхностного стока почвы уменьшалось с увеличением высоты падения или интенсивности дождя.

При одинаковой средней интенсивности дождя у дальнеструйных и короткоструйных машин воздействие по разрушению почвенных агрегатов изменяется в 2-3 раза. Фукусакура [96], приводя зависимости водной эрозии почвы, установил, что сток увеличивался с увеличением прочности поверхности почвы, диаметра капель, кинетической энергии, поверхностного натяжения.

В то же время дождь, создаваемый разными машинами, оказывает различное влияние на почву с точки зрения впитывания воды, разрушения почвенных агрегатов, образования луж и стока [9, 32, 34]. При одинаковой средней интенсивности дождя у дальнеструйных и короткоструйных машин воздействие по разрушению почвенных агрегатов изменяется в 2-3 раза.

Влияние размера капель искусственного дождя на условия впитывания учитывается изменением постоянной впитывания по формулам, предложенным различными авторами:

– по Абрамову Ф.Г.:

$$A_{\sigma i} = \frac{A_{\sigma i} d_i}{d_i};$$

– по Ерхову Н.С.:

$$A_{\sigma i} = \frac{e^{0,65 d i}}{e^{0,65 d i}};$$

– по Колеснику Ф.И.:

$$A_{\sigma i} = A_{\sigma i} \frac{d_i^{1,5} + 1}{d_i^{1,5} + 1}.$$

Решая совместно уравнения:

$$m_{\sigma on} = \rho t_{\sigma on},$$

получим формулу для определения допустимой нормы полива:

$$m_{\sigma on} = \frac{10 A_{\sigma}}{\rho^{a-1}},$$

где  $m_{доп}$  — допустимая норма полива,  $\text{м}^3/\text{га}$ .

Эта формула учитывает характеристики искусственного дождя, его интенсивность и размер капель, а также тип почвы.

Результаты этих исследований положены в основу разработки агротехнических требований к дождевальной технике, программ и методов ее испытаний, то есть в основу выбора характеристик искусственного дождя, которыми оценивается его качество. В соответствии с программой и методикой государственных испытаний дождевальных машин качество искусственного дождя характеризуется среднеэффективной интенсивностью или слоем осадков в единицу времени, диаметром капель и коэффициентами, учитывающими равномерность распределения дождя на орошаемой площади.

Одним из важнейших факторов свободной инфильтрации воды в почву является крупность капель дождя. При работе среднеструйных машин поливная норма в  $500 \text{ м}^3/\text{га}$  может быть подана до луж и стока при объемной массе пахотного слоя  $1,1 \text{ г}/\text{см}^3$  дождем интенсивностью  $0,59 \text{ мм}/\text{мин}$  и после уплотнения почвы до  $1,4 \text{ г}/\text{см}^3$  —  $0,14 \text{ мм}/\text{мин}$ . При поливе машиной ДДН-70 допустимая интенсивность дождя намного ниже, чем при поливе её «Фрегатом» или «Волжанкой»: при объемной массе почвы  $1 \text{ г}/\text{см}^3$  допустимая интенсивность  $0,19 \text{ мм}/\text{мин}$ , при  $1,4 \text{ г}/\text{см}^3$  —  $0,067 \text{ мм}/\text{мин}$ .

По данным Делфса, поверхностный сток на оголенной почве в несколько раз выше, чем под растительным покровом. Например, на оголенной поверхности сток составил  $17 \%$ , в лесу же при поверхностном слое из гумуса —  $4 \%$ , из хвойных игл —  $1 \%$ .

При уклоне орошаемой площади до  $5 \%$  максимально допустимые значения интенсивности дождя для песчаной почвы составляют  $20 \text{ мм}/\text{га}$  ( $0,33 \text{ мм}/\text{мин}$ ), супесчаной —  $15 \text{ мм}/\text{га}$  ( $0,25 \text{ мм}/\text{мин}$ ), суглинистой —  $12 \text{ мм}/\text{га}$  ( $0,20 \text{ мм}/\text{мин}$ ) и для глинистой почвы —  $10 \text{ мм}/\text{га}$  ( $0,17 \text{ мм}/\text{мин}$ ) [39, 79].

Согласно исследованиям Кервалишвили и Наниташвили, сравнение прерывистого дождевания с непрерывным, при одинаковых почвенных и рельефных условиях, показало, что при перерывах от 10 до 30 мин достигается уменьшение средней интенсивности дождя, а на уклонах поливаемой площади от  $5^\circ$  до  $22^\circ$ , скорость впитывания увеличивается в среднем в 1,25-2,0 раза. Применяя трехкратное и

двукратное регулирование дождя на уклонах  $0^{\circ}$ - $15^{\circ}$ , можно дать поливную норму от 265 до  $540\text{ м}^3/\text{га}$  [40].

Агротехническая оценка дождевальных машин – важное условие при выборе наиболее перспективных конструкций, повышающих эффективность полива [20, 41, 43].

Экономическая эффективность той или иной дождевальной машины определяется по годовому экономическому эффекту, создаваемому машиной в сравнении с другими машинами, находящимися в серийном производстве [27, 60].

Работу дождевальной машины оценивают путем сопоставления эксплуатационных показателей с показателями машин, рекомендованных или распространенных в данной зоне и работающих в аналогичных условиях [61]. Отсюда следует, что экономическая эффективность одной и той же дождевальной машины непостоянна.

Для широкого внедрения в производство и высокоэффективного использования новой машины требуется рассмотреть технологический процесс дождевания для данного типа культур.

### **3.2 Обоснование конструктивно-технологической схемы дождевальных машин серии ДКФ**

Засухи и суховеи последних лет еще раз убедительно показали, что орошение в России должно играть важную роль. Вместе с тем в предложениях по восстановлению и дальнейшему развитию оросительных мелиораций следует исходить из того, что в стране произошли коренные изменения в требованиях к дождевальной технике и технологиям орошения, обусловленные факторами социально-экономического характера, приведшими, в частности, к сокращению площади орошаемых земель до 4,7 млн га.

Дождь, создаваемый современными дождевальными машинами, отличается по своим параметрам от естественных осадков «средней» силы. Высокие энергетические показатели искусственного дождя приводят к разрушению почвенного покрова и образованию поверхностного стока, неравномерности полива, что способствует развитию ирригационной эрозии, переувлажнению почвы и вымоканию растений в одних местах, при недостаточном их увлажнении в других, снижению плодородия орошаемых земель и неэффективному использованию водных, материально-технических, энергетических и зе-

мельных ресурсов. Поэтому значительное внимание следует уделять разработке технологий орошения и конструкций дождевальной техники, обеспечивающих, при экономически целесообразном уровне производительности, экономию воды, энергии, материально-технических и трудовых ресурсов без негативного воздействия на почву и окружающую среду. В частности, значительное внимание уделяется разработке модификаций дождевальных машин, работающих с рассредоточением водоподачи по площади и во времени.

За последнее время, по данным И.С. Остапова, В.Ф. Носенко [70], трудоемкость орошения снизилась у ДДА-100 МА с 3,6 до 2,2 чел.-час на 1000 м<sup>3</sup> водоподачи, коэффициент полезного действия возрос до 0,85, коэффициент эффективности полива достиг 0,7, коэффициент земельного использования 0,92.

Для колесных дождевальных трубопроводов коэффициент земельного использования повысился до 0,98, а трудозатраты снизилась с 2,5 до 1,9 чел.-час на 1000 м<sup>3</sup> воды. Средняя интенсивность дождя снизилась с 0,35 до 0,2 мм/мин. Однако энергозатраты не полив возросли с 122 до 160 кВт/ч на 1000 м<sup>3</sup>.

Для установок кругового действия трудоемкость снизилась с 1,5 чел.-час на 1000 м<sup>3</sup> до 1,1 чел.-час, коэффициент земельного использования увеличился до 0,98, энергозатраты остались неизменными в пределах 190 кВт/ч на 1000 м<sup>3</sup>. Это касается и качественного улучшения ресурсосберегающих параметров – интенсивности дождя и коэффициента эффективного полива.

По сравнению с 1980-ми годами, значительно снижены энергозатраты высокопроизводительных машин. Для ДДМ-100, ДМ «Фрегат», ДКШ-64, с 240, 180, 160 кВт/час на 1000 м<sup>3</sup>, до 190, 170, 165 кВт/час на 1000 м<sup>3</sup>, для ДМУ-А «Фрегат», ДФ-120, ДКН-80, ДКГ-80 «Ока», МДЭФ «Кубань-М», МДЭФ «Кубань-Л» – до 160, 140, 120 кВт/час, а для низконапорной модификации «Фрегат-Н» до 115 кВт/час на 1000 м<sup>3</sup>, т.е. технические средства медленного и низкоинтенсивного дождевания имеют довольно высокий показатель затрат около 250 кВт/час на 1000 м<sup>3</sup>.

В США до 90 % широкозахватной техники переоборудовано низконапорными насадками. Снижение энергоемкости дождевания при этом может составить от 16 до 50 %, значительно повышается эффективность использования водных ресурсов [108].



Конструкции низконапорных дождевальных машин типа «Zimmatic», «Lera», «Linia», «Valley» [58] оборудуются низконапорными насадками с поливом по сектору, монтирующихся на водопроводящем поясе на коротких патрубках в один ряд с наклоном  $45^\circ$  к горизонтальной плоскости. В целом экономия оросительной воды при поливе этими установками составляет не менее 20 % по сравнению с обычным дождеванием, а энергозатраты – на 15-20 %. Эффективность орошения этой системы достигает 98-99 %. Выпускаются комплекты низконапорных дождевальных аппаратов, включающие короткоструйные дефлекторные насадки с плоскими или коническими дефлекторами; пластмассовые и латунные коромысловые дождевальные аппараты с низким углом вылета струи, оборудование для приземного дождевания, присоединяемое к водопроводящему поясу на гибких шлангах. Высокое качество дождя обеспечивается не только за счет конструктивных особенностей аппаратов, но и оптимальной схемы их размещения, расчет которой осуществляется на ЭВМ с учетом параметров машины, требуемого расхода, давления, площади обслуживания, характеристики орошаемого участка.

В конечном итоге, все решения по совершенствованию технических средств для орошения направлены на создание высокопроизводительной поливной техники, обеспечивающей искусственный дождь, приближающийся по своим параметрам к качественным характеристикам идеала – естественных дождей средней силы, с каплями, падающими практически вертикально, при среднем диаметре 1-1,5 мм, с интенсивностью до 25 мм/мин и равномерностью распределения по площади не менее 0,9 [91].

Анализ показывает, что при реализации оптимальных агротехнологий орошения большое значение приобретают вопросы выбора конструкций дождевальных машин, аппаратов и схем их размещения на водопроводящем поясе. Недостаточно высокие агротехнические характеристики искусственного дождя заставляют вести работы по совершенствованию конструкций дождевальных машин. Дальнейшее направление научных исследований заключается в значительном снижении энергетического воздействия искусственного дождя на культуру без ухудшения агротехнических характеристик дождя.

С учетом вышесказанного был сделан вывод, что наиболее целесообразным для полива овощных культур является использование

поливной техники работающей из открытых оросителей и автономными энергоносителями. В результате научных, теоретических и экспериментальных исследований проведенных в ФГНУ «РосНИИПМ» с участием автора, была создана серия дождевальных машин ДКФ (рис. 3, 4, 5). Наиболее перспективной является ДКФ-1ПК (рис. 5).

Эта машина обладает преимуществом вышеупомянутых типов дождевателей, но в отличие от них имеет возможность изменения высоты консоли над поверхностью орошаемого участка, что позволяет практически устранить вредное влияние ветра на дождь, уменьшить энергетическое воздействие дождя на растения, чем устраняется недостаток у предыдущих типов поливной техники. ДМ ДКФ-1ПК имеет относительно высокие показатели по мобильности и работает с забором воды из открытых оросителей.

В конструкции дождевателя предусмотрено рабочее (когда консоли расположены перпендикулярно направлению движения трактора) и транспортное (когда консоли расположены параллельно движению трактора) положение консолей. Для удобства транспортировки и сборки водопроводящее кольцо разделено на три полусферы, соединяющиеся на фланцах. Откидная полусфера в передней части кольца, используемая для освобождения трактора, закреплена с одной стороны на поворотном пальце, с другой – на фланцах с отверстиями для крепежных элементов. Для установки дождевальной машины на хранение или выезда трактора на водопроводящем кольце предусмотрены откидные опоры.

В данной разработке внедрена возможность использования водопроводящих труб из полимерных материалов, что приводит к уменьшению веса дождевальной машины по сравнению с аналоговой поливной техникой. В отличие от металлических труб, полимерные стойки к коррозии, эластичны, долговечны и удобны при монтаже. Дождевальная машина ДКФ-1ПК оборудована низконапорными насадками секторного действия, дождевой поток которых ориентирован к земле, что дает стабильное дождевое облако под дождевальной машиной при воздействии ветра.



**Рис. 3. Дождевальная машина ДКДФ-1 в работе**





**Рис. 4. Дождевальная машина ДКФ-1П**





**Рис. 5. Дождевальная машина ДКФ-1ПК**

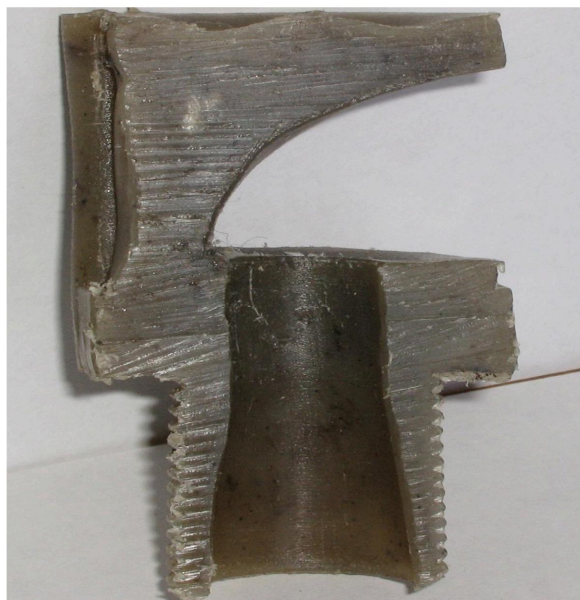
### 3.3 Разработка насадки секторного типа

На современном этапе развития АПК России существенно возросли требования сельскохозяйственного производства и рационального природопользования к способам и технике полива. Способы и техника полива должны быть в первую очередь ресурсосберегающими и экологически безопасными. Поэтому есть необходимость применения на системах экологически безопасные водосберегающие технологии медленного, прерывистого, синхронно-импульсного и мелкодисперсного дождевания. Для улучшения качества дождя необходимо научное обоснование конструкций насадок, повышения их экономической эффективности.

Дождевальные насадки секторного типа широко применяют в настоящее время для различных типов дождевальных машин. Так, например дождевальная машина ДДА-100ВХ оборудована секторными насадками собственной конструкции, дефлектор который выполнен плоским и небольшой площадью. Теоретические исследования Б.М. Лебедева [48] показывают, что структура дождя во многом зависит от толщины пленки, оборудованной дефлектором. В ФГНУ «РосНИИПМ» была сконструирована секторная насадка с ложкообразным дефлектором и увеличенной рабочей площадью. Применение данной насадки на дождевальных машинах требует агротехнической, технологической оценки и дальнейшего совершенствования самой конструкции. Предполагается, что дождь образованный сконструированной насадкой секторного типа будет обладать более высокими агротехническими показателями.

Для получения искусственного дождя, наибольшее распространение получили три типа дождеобразующих устройств: короткоструйные насадки, работающие под давлением  $0,5-1,5 \text{ кгс/см}^2$  ( $0,05-1,15 \text{ МПа}$ ); среднеструйные аппараты, работающие при давлении  $0,8-2,5 \text{ кгс/см}^2$  ( $0,08-0,25 \text{ МПа}$ ), и дальнеструйные дождевальные аппараты, работающие  $2,5-8 \text{ кгс/см}^2$  ( $2,8-8 \text{ МПа}$ ) и более [43].

Из короткоструйных насадок наиболее приемлемыми для дождевальных машин работающих в движении на наш взгляд является секторные насадки (рис. 6). Обоснование конструктивных параметров проводилось по методике Б.М. Лебедева.



**Рис. 6. Секторный насадок в разрезе**

Верхняя часть насадки представляет собой секторный дефлектор с ребрами жесткости. Ось подводного сопла (диафрагмы) совпадает с центром дефлектора. Дефлектор имеет «ложкообразную» форму с углом выхода  $32^\circ$ . В нижней части корпуса имеется резьба для навинчивания ее на патрубок, к которому поступает вода. Струя, выходящая из сопла, попадает на дефлектор и принимает при этом веерную форму с углом наклона к горизонту  $32^\circ$ . При дальнейшем движении в воздухе поток на большем, чем у круговой насадки, участке сохраняет сплошность в виде пленки. Далее пленка распадается на капли разного диаметра и соответственно различной скорости. От предыдущих исследований известно, что более круглые капли, имеют большую кинетическую энергию, падают на поверхность почвы дальше.

Расход воды через насадку может быть определен по общеизвестной формуле истечения из отверстия

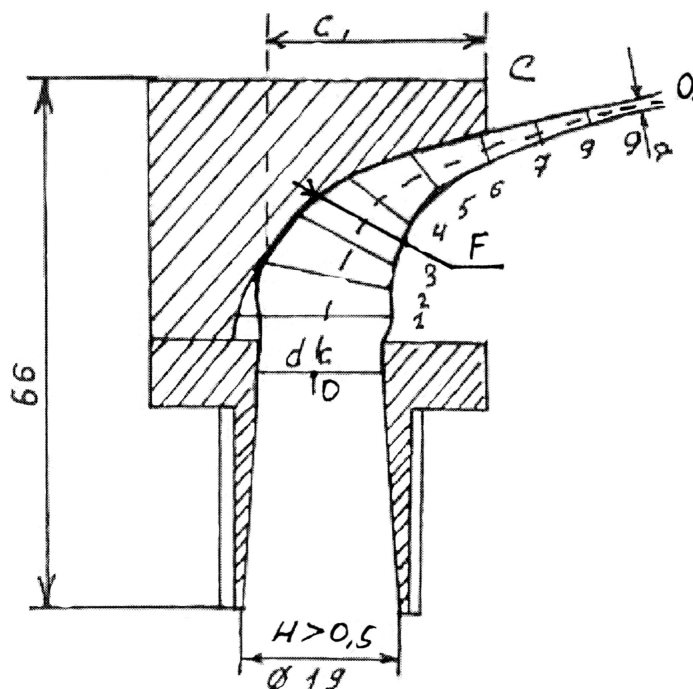
$$Q = \mu c F \sqrt{2gH},$$

где  $\mu$  – коэффициент расхода, зависящий от конструкции сопла и можно принимать его в пределах 0,8-0,9;

$F$  – площадь отверстия;

$H$  – напор перед насадкой.

Форма потока на дефлекторе короткоструйной секторной насадке несколько отличается от формы потока на конусном дефлекторе (рис. 7).



**Рис. 7. Форма потока воды по секторному насадку**

Как подтвердили опыты, эта форма также как и для конусного дефлектора не зависит от напора, если он 0,5-1,5 кгс/см<sup>2</sup> (0,05-1,15 МПа). На рис. 8 показана кривая изменение площади  $F$  живого сечения потока по его длине  $O-O_1$  начиная от середины расстояния между соплом насадки до сечения  $\alpha$ , при котором сохраняется сплошность пленки.

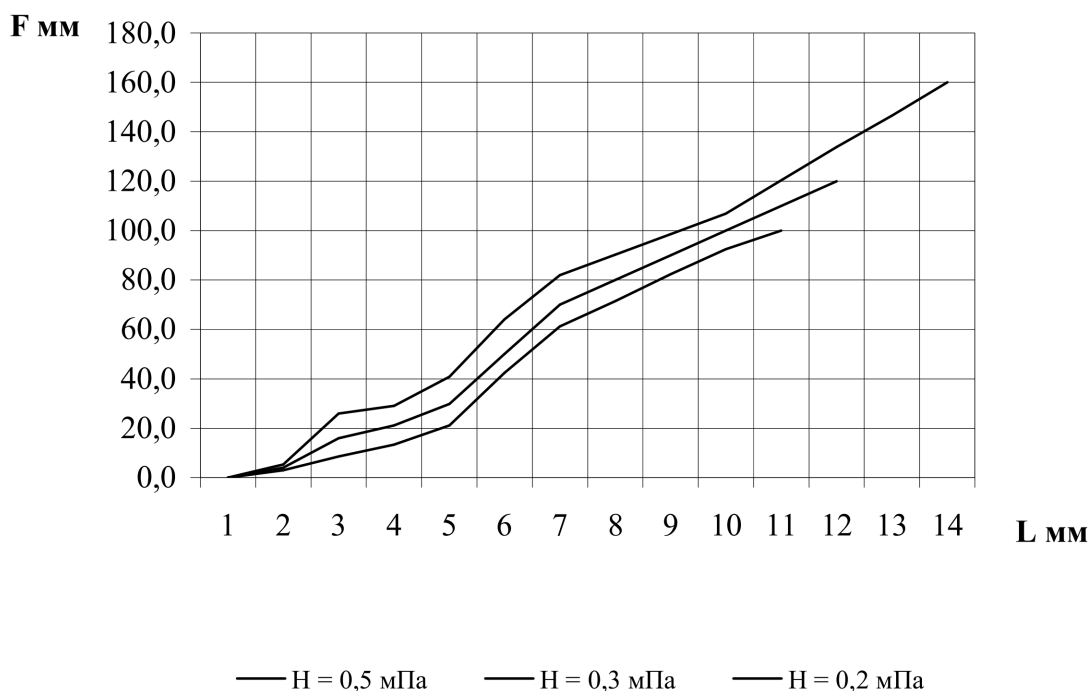
Анализ данного графика показывает, что сплошность пленки в данной насадке сохраняется на расстоянии до 130 мм, приобретая глубину потока в зависимости от давления на входе в насадку от 3 до 1 мм.

Максимальная дальность полива секторной насадкой рассчитывается по формуле

$$L = \frac{H}{0,43 + 0,0014H/d}.$$

Этой формулой рекомендуется пользоваться в пределах  $200 < (H/d) < 2000$ .





**Рис. 8. Изменение площади сечения потока  
в зависимости от давления**

Зная явления поверхностного натяжения в пленке, можно определить размеры капель, получающихся в результате ее разрыва. Очевидно, что с увеличением размеров пленки поверхностная энергия пленки увеличивается. Можно предположить, что разрыв пленки на капли наступит в тот момент, когда сумма поверхностной энергии всех капель будет равна (или меньше) поверхностной энергии пленки.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что насадка секторного типа с ложкообразным дефлектором разработанная в ФГНУ «РосНИИПМ», является более приемлемой для использования на дождевальных машинах, работающих в движении.

## **4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

### **4.1 Определение качества искусственного дождя**

При проведении полевых исследований использовались основные требования и положения, изложенные в СТО АИСТ 11.1-2004 «Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей» [90], а также рекомендации и положения по отдельным вопросам, имеющиеся в научно-технической литературе. Суще-

ствующие общегосударственные методические положения и рекомендации по определению и оценки технических характеристик дождевальных аппаратов и машин, в том числе и по качеству дождя и его структуре позволяют получить достаточно объективные и достоверные данные. Однако отсутствие некоторых серийных, общепринятых и удобных технических средств (приборов, приспособлений и т.д.) вынуждает применять самодельные устройства, повышающие качество лабораторно-полевых исследований, облегчающие и ускоряющие получение тех или иных данных.

Для определения расхода воды в полевых условиях, был подготовлен участок, заданный инструкцией по эксплуатации ДМ. Расход воды проводился в трехкратной повторности и определялся объемным методом.

Оборотами двигателя, по показаниям манометра, устанавливалось необходимое полное давление на входе в дождевальный пояс. Далее на насадки аппарата устанавливали заборные шланги. Объем воды замерялся мерным баком, который был установлен в строго вертикальном положении, емкостью 60 литров. Время наполнения бака фиксировалось секундомером. Расход воды каждым аппаратом определялся по формуле:

$$q = \frac{V}{t},$$

где  $V$  – объем воды в мерном баке, л;

$t$  – время наполнения бака, с.

Для установления выдачи той или иной поливной норм определяли средний слой дождя за один проход. Измерение осадков, выпавших на поверхность почвы во время работы дождевальной машины, проводилось при помощи дождемерных стаканов (бачков), разработанных в РосНИИПМ (рис. 9), высотой 190 мм, диаметром 50,4 мм и приемной площадью 20 см<sup>2</sup>.

Их конструктивная особенность обеспечивала стабильное вертикальное положение стакана (горизонтальность водоприемного отверстия) независимо от установки опорного стояка на склоне или с перекосом за счет металлической подставки, состоящей из удлинителя с кольцом для дождемерного бачка и стояка с заостренным носиком, приваренной под прямым углом подножкой (упором), служащим для задавливания стояка в землю.



**Рис. 9. Прибор для улавливания дождевых осадков**

Кроме того, коническая форма бачков и малая их масса 54,9 г. позволяет вставлять их один в один, что значительно уменьшает объем тары, необходимой для упаковки бачков перед транспортировкой и дает легкость и удобство при переноске и расстановке их в точках принятой схемы, а выполнение дождемерных бачков из полиэтилена исключает возможность их коррозии и увеличивает срок службы.

Площадь приемного отверстия стакана (бачка) имеет стабильный и удобный при подсчетах размер – 20 см<sup>2</sup>, что повышает точность опыта и ускоряет обработку полученных данных.

Дождемеры расставляли согласно СТО АИСТ 11.1-2004 «Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей» [90] для консольных машин по всей площади орошения (рис. 10).

Схема расстановки дождемеров и других метеоприборов для измерения слоя дождя была принята с учетом более полного захвата дождевого облака дождевальной машины. Бачки расставлялись под каждым крылом дождевальной машины по квадратам, каждая из сто-



рон которого равна 2 м. Общее количество бачков – 540 штук (по 270 на каждом крыле машины). Агрегат проходил под бачками 6-10 раз.



**Рис. 10 Схема расстановки дождемерных бачков при поливе ДКФ-1ПК**

Число проходов ограничивалось моментом, когда наполнение хотя бы нескольких бачков составляло более  $\frac{2}{3}$  их объема. Одновременно, во время проведения опытов, регулярно измерялась скорость и фиксировалось направление ветра на высоте 2 м от поверхности земли. Объемы осадков в дождемерах определялись мерным цилиндром с ценой деления 0,5 мм. В результате проведенных исследований определен фактический слой дождя в точке каждого диаметра и средние показатели по машине. Расчеты проводились по формуле:

$$h = \frac{10V}{N \cdot F},$$

где  $h$  – средний слой дождя за 1 проход, мм/проход;

$V$  – объем воды в одном дождемере, см<sup>3</sup>;

$F$  – приемная площадь дождемера, см<sup>2</sup>;

$N$  – число проходов машины.

После проведения опыта и снятия показаний с дождемеров и метеоприборов проводились расчеты интенсивности.

Показания дождемерных бачков заносили в ведомость. Одновременно вычислялась интенсивность для каждого дождемера по формуле:

$$\rho = \frac{10V}{F_g t}, \text{ мм/мин,}$$

где  $V$  – объем воды в дождемере, см<sup>3</sup>;

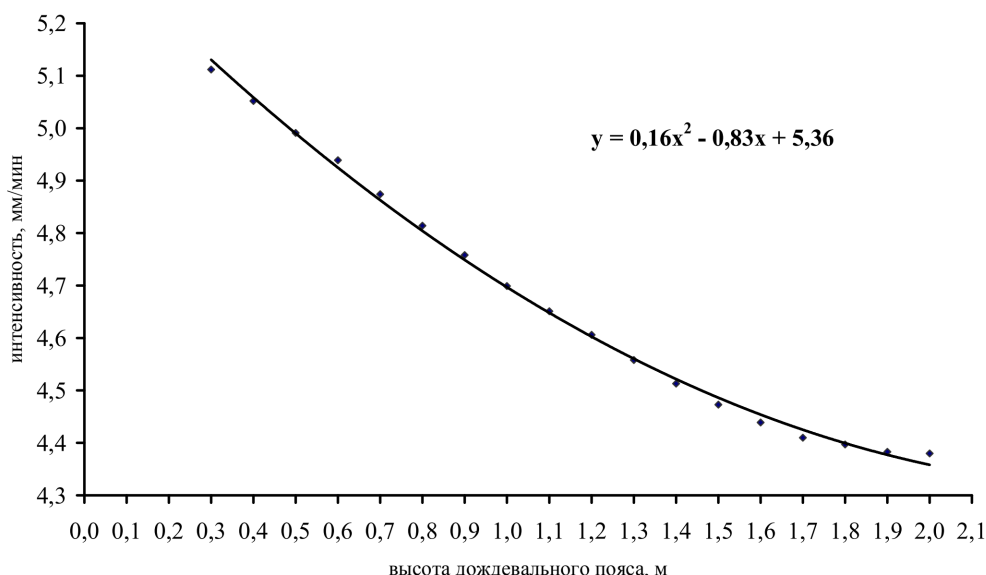
$F_g$  – приемная площадь дождемера;

$t$  – время полива.

После окончания опытов проводилась камеральная обработка материалов, составлялась карта дождя, строились изогии, частотные графики, определялись средняя интенсивности и коэффициенты эффективного полива и т.д., в соответствии с действующими методическими указаниями.

В связи с особенностью конструкции дождевальной машины ДКФ-1ПК, позволяющей изменять высоту дождевального крыла над орошаемым участком расчет интенсивности проводился по всем промежуточным уровням.

В результате расчета интенсивности была установлена зависимость изменения интенсивности искусственного дождя от высоты дождевального пояса (рис. 11).



**Рис. 11. Зависимость интенсивности от высоты дождевального пояса**



Уравнение, описывающее зависимость, аппроксимируемое полиномом второго порядка имеет вид:  $y = 0,16x^2 - 0,83x + 5,36$  при величине достоверности аппроксимации  $R^2=0,98$ .

Структура дождя определялась путем улавливания капель искусственного дождя с последующей обработкой данных.

В связи с тем, что определение диаметра капель методом скоростной киносъемки, как это рекомендует СТО АИСТ 11.1-2004 было невозможно из-за отсутствия технических средств, был применен метод получения отпечатков капель на обеззоленную фильтровальную бумагу, предварительно натертую чернильным порошком [7]. Для ускорения и повышения качества опыта был использован прибор – каплеуловитель ручной КР-2, конструкции ЮжНИИГиМ (рис. 12).

Прибор выполнен в виде неподвижного основания с откидным дном для крепления фильтровальной бумаги, соединенного приводной регулируемой пружиной с верхней подвижной экранирующей крышкой, имеющей круглое впускное отверстие для улавливания капель, расположенное на периферийной части, и обзорные окна закрытые органическим стеклом. Данная конструкция экранирующей крышки повышает эффективность проводимых замеров, за счет осмотра фильтровальной бумаги, находясь непосредственно в дождевом облаке, и исключения возможности получения брака из-за попадания излишков дождевой воды. Малая масса (1,6 кг) и простота конструкции прибора обеспечивает легкость и удобство в эксплуатации.



**Рис. 12. Прибор для получения отпечатков водяных капель КР-2**

Для обработки капли отбирали в начале, середине, конце крыла и дождевого облака.

Измерение отпечатков капель дождя производилось в двух взаимно перпендикулярных плоскостях – горизонтальной ( $d_1$ ) и вертикальной ( $d_2$ ). По ним рассчитывался средний диаметр отпечатка каждой капли ( $d$ ) по формуле:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2},$$

Для определения фактического диаметра капель использовалась методика, предложенная В.Д. Ворковым [48, 79] заключающаяся в следующем.

На кусок тарированной бумаги наносят любую каплю, которая может быть получена на конце заостренного стержня. Бумагу взвешивают до нанесения капли и после этого. Разность масс дает массу капли  $m$  (в мг). Диаметр капли определяют по формуле:

$$d = \sqrt[3]{\frac{6m}{\pi\rho_в}},$$

где  $\rho_в$  – объемная масса воды, мг/см<sup>3</sup>.

После нанесения на бумагу вода распределяется в ее порах. Объем бумаги  $V$ , в порах которой находится вода:

$$V = \frac{1}{4}\pi D^2\delta,$$

где  $D$  – диаметр отпечатка капли, мм;

$\delta$  – толщина бумаги, мм.

Можно записать, что объем капли равен объему бумаги, в порах которой находится вода:

$$\frac{\pi d^3}{6} = \frac{1}{4}k\pi D^2\delta,$$

где  $k$  – коэффициент пористости бумаги.

Отсюда:

$$d = \sqrt{\frac{3k\delta D^2}{2}},$$

или

$$d = C\sqrt[3]{D^2},$$

где  $C = \sqrt[3]{\frac{3k\delta}{2}}$  – коэффициент качества бумаги.

Так как коэффициент  $C$  остается постоянным для данного сорта бумаги. Его можно определить исходя из диаметра ее отпечатка по последней формуле. В дальнейшем по данной формуле строим тарировочную кривую.

При оценке качества искусственного дождя имеет значение такая его характеристика, как количество капельной воды в единице объема дождевой массы. Если представить себе некоторый объем  $V$ , выделенный из общего объема дождевой массы с площадью основания  $F$  и высотой  $h$ , и предположить, что он заполнен каплями, падающими со скоростью  $v$ , то количество капельной воды в этом объеме:

$$q_B = \frac{V_B}{t},$$

где  $t$  – время, в течение которого капли проходят расстояние  $h$ ;

$V_B$  – общее количество капельной воды в объеме  $V$ .

С другой стороны:

$$q_1 = F\rho,$$

где  $\rho$  – интенсивность дождя.

Приравнивая правые части и учитывая, что  $t = \frac{h}{v}$ , можно получить:

$$V_B = \frac{Fh\rho}{v},$$

но так как  $Fh = V$ , то

$$V_B = V\rho/v$$

или

$$\frac{V_B}{V} = \frac{\rho}{v},$$

т.е. отношение объема капельной воды в дождевой массе к полному объему этой массы равно отношению интенсивности дождя к скорости падения капель.



Этот сформулированный Лебедевым закон – называется основным законом дождевания. Он связывает основные параметры искусственного дождя; объем дождевой массы; объем воды, заключенной в этой массе; интенсивность дождя и скорость падения капель [48].

В том случае, если капли падают наклонно, под скоростью падения  $v$  следует понимать вертикальную составляющую скорости их падения. При нормальном напоре у всех машин горизонтальная слагающая скорости движения капель при приближении их к земле гасится сопротивлением атмосферного воздуха, и капли на землю падают почти вертикально.

Как сформулировал Лебедев отношение  $V_B/V$  можно назвать коэффициентом  $v$  заполнения дождевого пространства капельной водой, из формул следует, что этот коэффициент равен количеству воды в единице объема, т. е.

$$v = \frac{\rho}{v}.$$

Исследования, проведенные по расчету объема воды в  $1 \text{ м}^3$  дождевого облака при изменении высоты консоли над орошаемом участке позволил построить график зависимости объема воды от высоты консоли (рис. 13).

Скорость падения всех капель вблизи земли независимо от их размера можно принимать одинаковой, так как капельный поток увлекает за собою атмосферный воздух, в результате чего создается общий поток дождевой массы, и скорости капель в значительной степени уравниваются.

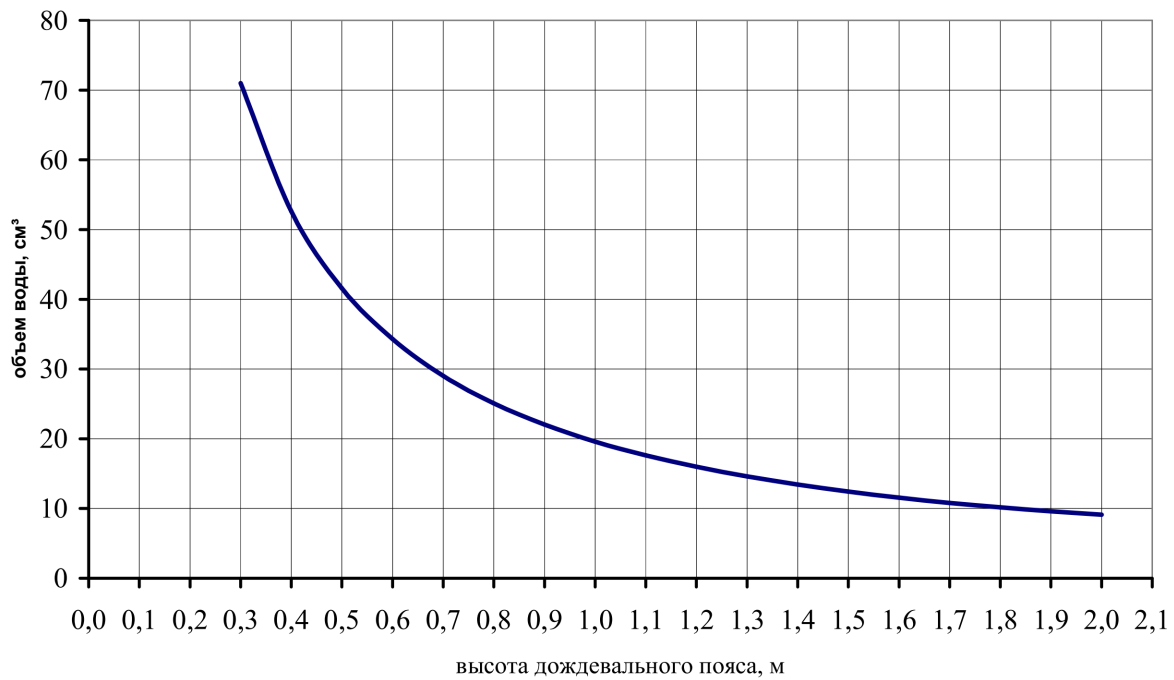
Важным является вопрос о давлении дождя на почву. Если предположить, что дождевая масса  $m$  опускается на поверхность скоростью  $v$ , то из уравнения количества движения следует, что  $mv = Pt$ , где  $P$  – сила, а  $t$  – время. После деления на  $t$  получим:

$$v \frac{m}{t} = P, \text{ но } \frac{m}{t} = \frac{Q\gamma}{g},$$

где  $Q$  – расход воды;

$\gamma$  – удельный вес воды;

$g$  – ускорение свободного падения.



**Рис. 13. Зависимость объема воды в дождевом облаке от высоты консоли**

Следовательно:

$$\frac{Q\gamma}{g}v = P.$$

После деления этого выражения на площадь  $f$  получаем давление  $p$  дождя на почву, т.е.

$$\frac{Q}{f} \frac{\gamma}{g} v = p.$$

Как было показано,  $Q/f = \rho$ , где  $\rho$  – интенсивность дождя. Следовательно, давление дождя на почву:

$$p = \rho \frac{\gamma}{g} v.$$

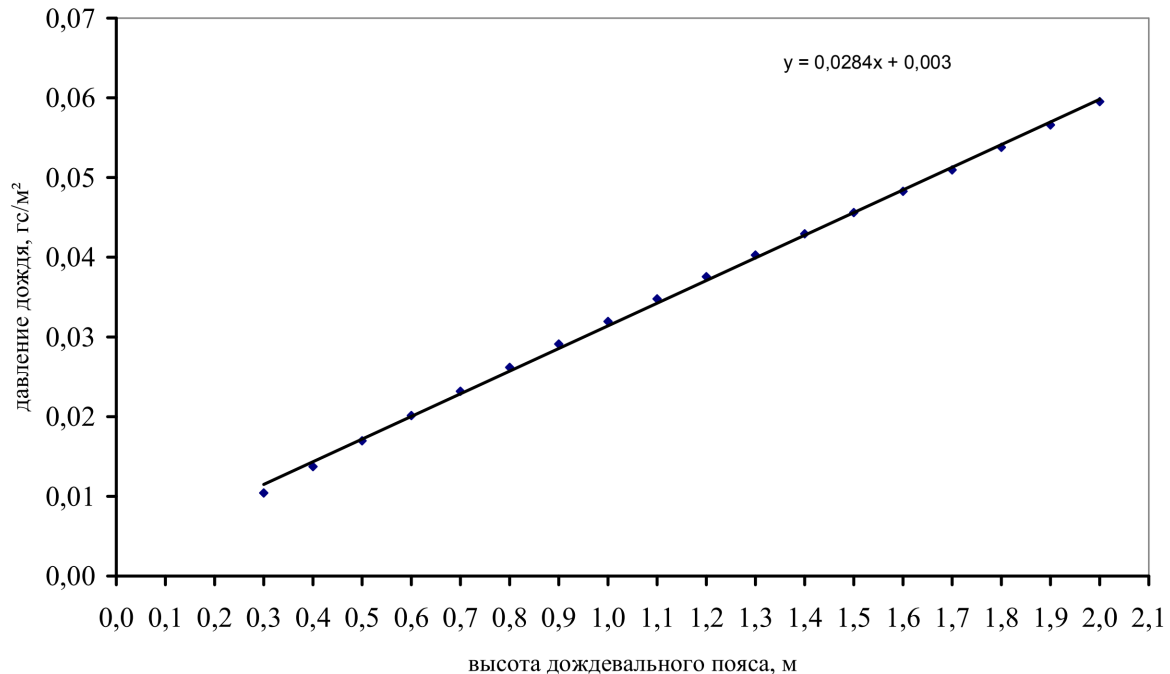
Это соотношение является вторым основным законом дождевания [48]. Оно важно для оценки качества дождя.

Под скоростью  $v$  нужно понимать скорость падения капель.

Если принять  $p$  в кгс/м<sup>2</sup>,  $\rho$  в мм/мин,  $\gamma$  в кгс/м<sup>3</sup>,  $g$  в м/с<sup>2</sup> и  $v$  в м/с, то получаем:

$$p = \frac{1}{60} \rho \frac{\gamma}{g} v.$$

Результаты измерения давлений дождевой массы на почву в зависимости от высоты консоли представлены на рис. 14.



**Рис. 14. Изменение давления дождевой массы на почву в зависимости от высоты консоли**

Таким образом, чем выше консоль над орошаемым участком, тем больше давление дождевой массы на почву.

## 4.2 Влияния ветра на равномерность полива

Скорость и направление ветра определяют величину расстояния между оросителями и площади полива при работе дождевальных машин.

Скорость ветра очень непостоянна как по величине, так и по направлению и имеет пульсирующий характер.

Одной из важных характеристик ветра является его повторяемость — это суммарное число часов за год, месяц или за декаду, выраженное в процентах от общего времени, в течение которого в данном пункте наблюдалась одинаковая скорость ветра. Повторяемость скорости ветра легко находится по таблицам (Г.А. Гриневича, М.П. Поморцева, Гуллена и др.) или по соответствующим кривым [78, 93].

Очень важно, что скорость ветра меняется по высоте. Это обязательно следует учитывать при изучении технологии дождевания, пользуясь кривой изменения относительных величин скоростей ветра по относительной высоте, если известна скорость ветра на какой-нибудь высоте [4, 78, 93].

Кинетическая энергия воздушного потока, действующая на струю дождевального аппарата, пропорциональна скорости ветра в третьей степени и определяется формулой:

$$T = \frac{\gamma \cdot V^3 \cdot F}{2g},$$

где  $T$  – кинетическая энергия воздушного потока, кг/м;

$\gamma$  – удельный вес воздуха, кгс/м<sup>3</sup>;

$V$  – скорость воздушного потока, м/с;

$F$  – поперечное сечение потока, м<sup>2</sup>;

$g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>.

Влияние скорости ветра на качество работы дождевальных машин и агрегатов характеризуется значительными сокращениями размеров орошаемой площади и еще большей неравномерностью распределения капель дождя, чем это имеет место при безветрии.

О влиянии ветра на равномерность распределения дождя и его интенсивность можно судить по таким данным: установлено, что при скорости ветра 3 м/с нормально политая площадь составляет примерно 35-40 % от общей площади полива, но при скорости ветра 9 м/с она соответственно уменьшается до 28-32 % площади полива. Для дальнеструйных аппаратов скорости ветра 1,5-5 м/с ухудшают качество полива: коэффициент эффективного полива изменяется в пределах 0,68-0,24; коэффициент избыточного полива – в пределах 0,19-0,56; коэффициент недостаточного полива – в пределах 0,17-0,47 [14].

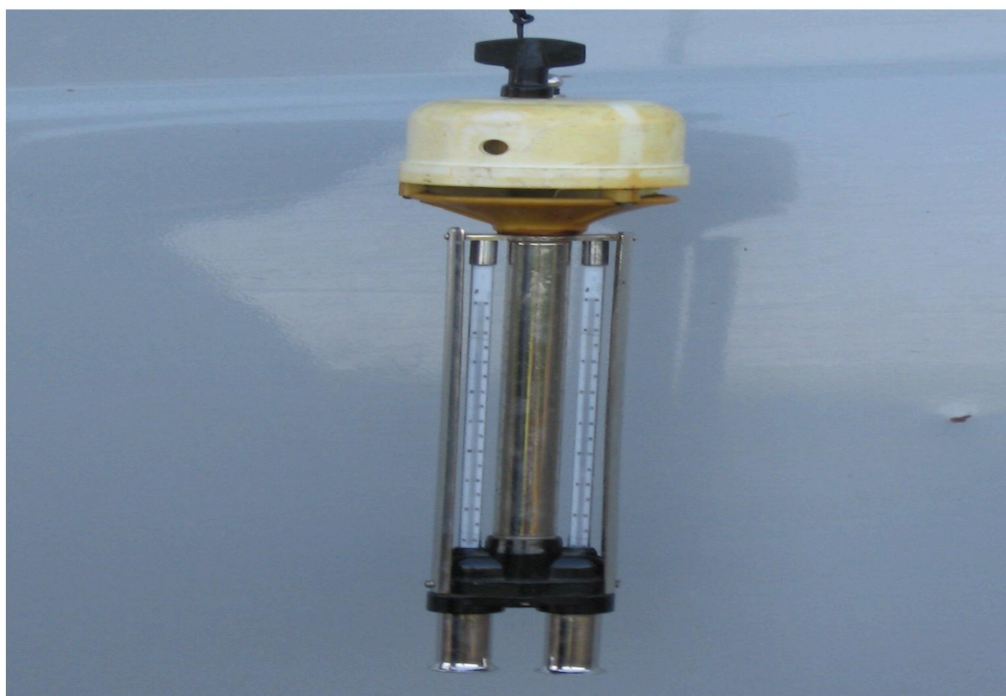
Для уменьшения негативного влияния ветра при орошении дальнеструйными дождевальными машинами, одни исследователи [8, 19] предлагают на протяжении одного оборота дождевального аппарата менять угол наклона его ствола к горизонтальной плоскости и угловую скорость, другие [25, 48] – сокращать расстояние между орошителями и аппаратами.

Существующие нормативные положения устанавливают необходимость непрерывного отсчета показателей приборов для измере-

ния скорости ветра (рис. 15), а также влажности воздуха (рис. 16) через каждые 5-10 минут в период опыта.



**Рис. 15. Чашечный анемометр**



**Рис. 16. Психрометр**

Для сравнительного анализа были проведены полевые исследования равномерности полива дождевальная машины ДКФ-1ПК, кон-



струкция которой, позволяет изменять высоту консоли над уровнем земли и угол наклона к горизонту при скорости ветра 5 м/с:

- при стандартной рабочей высоте консоли дождевальной машины над орошаемым участком;
- с понижением уровня консоли на 50 см.

На основе полученных опытных данных были построены карты распределения дождя (рис. 17, 18).

Как известно, существующие дождеватели при средней скорости ветра 4, 5, 6, 7 м/сек вынуждены простаивать 50-60 % времени, так как не приспособлены для работы в таких природных условиях, в отличие от дождевальной машины ДКФ-1ПК.



**Рис. 17. Карта распределения искусственного дождя дождевальной машины ДКФ-1ПК – при рабочей высоте консоли 2 м**



**Рис. 18. Карта распределения искусственного дождя дождевальной машины ДКФ-1ПК – с понижением консоли на 0,5 м**

Таким образом установлено:

- использование дождевальной машины ДКФ-1ПК позволяет увеличить время работы машины до 50 % в связи с возможностью работы при скорости ветра до 9 м/с с равномерностью полива отвечающего ОСТу;

- увеличение времени работы равносильно увеличению производительности дождевальной машины в 2,6 раза, так как продолжительность ее использования с 30 % времени суток увеличится до 80-90 %. Это же означает, что одну и ту же площадь можно будет орошать в 2-3 раза меньшим парком машин;

- коэффициент эффективного полива при пониженной консоли (на 50 см) выше, чем у стандартной, и составляет 0,622 и 0,560 соответственно.

#### **4.3 Объем задержания оросительной воды растительным покровом овощных культур**

Наблюдения за работой дождевальных машин показали, что во время полива овощных культур дождеванием часть воды перехватывается растительным покровом, затем испаряется, не достигая поверхности почвы. Поэтому при составлении водного баланса орошаемого поля и при определении поливной нормы, надо учитывать задержание растительным покровом оросительной воды при дождевании сельскохозяйственных овощных культур.

Изучение перехвата естественных осадков покровом сельскохозяйственных культур проводились учеными, как в России, так и за рубежом [17, 29, 58, 92, 95]. Полученные данные этих исследований показывают, что растительный покров на своей поверхности задерживает от 15 до 55 % количество естественных осадков.

По данным Побережского и Трофимова [76], максимальный слой воды, задержанный люцерной в фазу цветения, составил 0,7 мм (метод искусственного дождевания). Также даются такие значения задержания оросительной воды на кукурузе – 8,5-11,0 м<sup>3</sup>/га, озимой пшенице – 14,2 м<sup>3</sup>/га.

Согласно исследованиям Вольи [58] на различных культурах может задерживаться вода от 1 до 100% в зависимости от количества выпавших осадков. Бларк [58] доказывает в своих работах, что растения могут задерживать слой осадков от 0,5-2,0 мм. По данным изме-

рения Р.А. Мерриан [58], которые производятся в течение года на поле ржи после поливов, толщина водной плёнки на листовой поверхности составляла 0,12 мм (с обеих сторон листа).

Имеются методики определения задержания оросительной воды сельскохозяйственными растениями при дождевании. В литературных источниках они описаны весьма отрывочно, разработаны при исследованиях с вегетационными осадками или применительно к среднеструйным дождевальным машинам [29].

Для определения перехвата оросительной воды овощными культурами дождевателя консольного фронтального действия ДКФ-1ПК мы рассматривали ряд методов:

- метод разности осадков, заключающийся в замере слоя дождя на уровне верха травостоя или на открытой площадке и под травостоем водосборными сосудами или щелевыми лотками.

- метод взвешивания срезанных органов или целых растений до и после смачивания в воде или путем искусственного дождевания также не может отразить влияние на задержание осадков интенсивности дождя, диаметра и структуры капель, частоты проходов дождевальной машины, погодных условий и т.д. [29].

В результате обобщения изученной литературы, нами был принят и проверен в полевых условиях метод определения задерживания осадков по их разнице.

При определении задержания воды листовой поверхностью при поливе дождевальной машиной большое влияние оказывают погодные условия, особенно скорость и направление ветра. Об этом свидетельствуют проведенные на картофельном поле опыты, результаты которых приведены в табл. 10.

Во время опыта высота ботвы картофеля достигала 40-50 см. На участке орошения по обе стороны дождевальной машины ДКФ-1ПК было установлено 12 специальных дождемеров, попарно шесть дождемеров с дном и шесть дождемеров без дна с приемной площадью, равной  $1680 \text{ см}^2$  в шести пунктах, расположенных в начале, середине и в конце дождевального крыла по профилю. Расстояние между парными дождемерами в отдельных пунктах равнялось 1,0-1,5 м.

Из данных табл. 10 видно, что поступление воды на поверхность почвы картофельного поля чрезвычайно неравномерное, так как под воздействием ветра капли падают на землю не вертикально, а под



различными углами на листья и стебли и стекают на поверхность почвы.

Таблица 10

**Скорость, направление ветра и слой воды в дождемерах  
при поливе ДКФ-1ПК**

| Местоположение дождемеров от оси движения трактора |                  | Направление ветра от оси движения трактора | Скорость ветра, м/с | Слой воды в дождемере, мм |             |
|----------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------|---------------------|---------------------------|-------------|
|                                                    |                  |                                            |                     | на открытой поверхности   | в травостое |
| справа                                             | начало консоли   | справа                                     | 2,71                | 4,52                      | 5,95        |
|                                                    | середина консоли | 35°27'                                     | —"                  | 4,82                      | 4,50        |
| слева                                              | начало консоли   | —"                                         | —"                  | 4,48                      | 7,86        |
|                                                    | середина консоли | —"                                         | —"                  | 4,65                      | 5,01        |
| справа                                             | начало консоли   | слева                                      | 2,58                | 6,1                       | 9,64        |
|                                                    | середина консоли | 73°19'                                     | —"                  | 10,95                     | 11,55       |
| слева                                              | начало консоли   | —"                                         | —"                  | 8,63                      | 10,83       |
| справа                                             | начало консоли   | справа                                     | 1,14                | 3,93                      | 3,29        |
|                                                    | середина консоли | 106°48'                                    | —"                  | 4,49                      | 4,00        |
|                                                    | конец консоли    | —"                                         | —"                  | 5,18                      | 13,75       |
| слева                                              | начало консоли   | —"                                         | —"                  | 4,34                      | 5,36        |
|                                                    | середина консоли | —"                                         | —"                  | 4,74                      | 4,51        |
| справа                                             | начало консоли   | справа                                     | 0,85                | 5,0                       | 4,43        |
|                                                    | середина консоли | 62°38'                                     | —"                  | 5,18                      | 4,60        |
|                                                    | конец консоли    | —"                                         | —"                  | 5,03                      | 4,87        |
| слева                                              | начало консоли   | —"                                         | —"                  | 3,81                      | 3,57        |
|                                                    | середина консоли | —"                                         | —"                  | 5,30                      | 4,80        |
|                                                    | конец консоли    | —"                                         | —"                  | 3,47                      | 3,19        |

На открытой поверхности наблюдается другая картина. Приемная площадь дождемера условно меняется от угла падения капли, что, в свою очередь, зависит от величины капли, скорости и направления ветра.

#### 4.4 Потери воды на испарение из дождевого облака

Известно, что одним из видов потерь оросительной воды при дождевании является испарение воды с поверхности капель дождя во время их полета в воздухе.

В процессе дождевания, влияющими на величину испарения, являются температура и дефицит влажности приземного слоя воздуха, скорость ветра, структура и диаметр капель, высота полета капель дождя и тип дождевальной машины [5, 16, 29, 97].

Изучение потерь воды из дождевого облака проводились многими исследователями [44, 76, 109].

Приведенные данные исследований показывают, что потери воды на испарение в процессе дождевания изменяются в широких пределах от 2 до 44% от объема поданной воды. Эти различия обусловлены разными метеоусловиями во время проведения опытов, разной структурой дождя и различия в методике определения этих величин.

Определение величины потерь на испарение из дождевого облака, при поливе разными дождевальными машинами, заканчивались отдельными характеристиками потерь воды на испарение, зависящими от тех метеоусловий, при которых они определялись и конкретных дождевальных машин. Эти наблюдения были проведены в основном с короткоструйными дождевателями, а также с дальнеструйными машинами со струями сплошного строения.

Определение потерь воды на испарение в полевых условиях требует много времени и больших затрат труда. Поэтому, исследователи стремились для определения потерь воды на испарение получить расчетным методом или при помощи номограммы [97].

В связи с большим испарением воды в дневное время многие исследователи указывают, что более благоприятно производить поливы дождеванием в ночное время [44, 76].

Изложенное позволяет сделать вывод, что слабо изученными являются потери воды на испарение при поливе консольными дождевальными машинами фронтального действия.

Отсюда очевидна необходимость изучения потери воды на испарение в процессе полива дождевальной машиной ДКФ-1ПК.

Потери дождя на испарение можно определить методом водного баланса по разнице между объемом воды, поданным в дождевальную машину, и осадками, выпавшими на поверхность почвы в процессе полива [29].

Испарение воды в процессе дождевания можно определить и химическим методом. Однако, возможность практического применения этого метода в полевых условиях очень не простая. Суть метода заключается в том, что при испарении молекулы воды будут отрываться от поверхности водного раствора без катионов и  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^+$  и анионов  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ . Концентрация катионов натрия в поливной воде определяется на пламенном фотометре [29].

В результате обобщения литературы нами принят способ определения потерь воды на испарение методом водного баланса, который заключается в определение разницы между объемом воды, поданным в дождевальную машину, и осадками, выпавшими на поверхность почвы в процессе полива. Разность между количеством воды, подаваемой дождевальной машиной ( $Q$ ), и воды, выпавшей на почву ( $Q_1$ ), отнесенной к объему, забранному дождевальной машиной, даст процент испарения воды ( $\varepsilon$ , %) за время полета дождя в воздухе:

$$\varepsilon = \left( \frac{Q - Q_1}{Q} \right) 100,$$

где 100 – переводной коэффициент, выражающий испарение воды в процентах.

Для отбора дождевых капель, падающих на поверхность почвы вдоль крыла ДКФ-1ПК, ставили дождемеры. Для этой цели были изготовлены специальные дождемеры приемной площадью 500 см<sup>2</sup>, высотой 40 см и защитной воронкой с отверстием для стока воды. Для предохранения от солнечных лучей дождемеры были выполнены из полимерного материала белого цвета. Устанавливались они в начале, середине и в конце крыла. Пробы воды для анализа отбирались из дождемеров после однократного и четырехкратного прохода (два прохода вперед со скоростью 700 м/час и два прохода назад при задней скорости 545 м/час) дождевальной машины.

Наблюдения за скоростью ветра, температурой и влажностью воздуха проводились на высоте двух метров от поверхности почвы, при расположении приборов с наветренной стороны на расстоянии 50 метров от дождевальной машины, чтобы на них не оказывал влияния микроклимат, создаваемый дождевальной машиной.

При проведении опытов отсчеты по приборам (анемометру и психрометру) проводились одновременно с прохождением дождевого облака, с интервалом через каждые 30 и 60 сек. Опыты проводились в течение светового дня.

Исследования по определению величины испарения проводились в 2004-2005 гг. при работе ДКФ-1ПК в движении на полях ООО «Агросфера» и КСП «Мир» Азовского района Ростовской области.

Как известно, дождь, создаваемый дождевальными машинами, обладает неравномерной структурой. В наших опытах дождь, создаваемый ДКФ-1ПК, состоит из капель от 0,52 до 1,23 мм. При этом наблюдается увеличение диаметра капель от начала крыла к концу.

Вычисление относительных процентов погрешности анализа проводилось в соответствии с методическими указаниями [29]. Средние погрешности анализа между повторностями, разностью объемов в поливной воде, не превышали 1,5-2,0 %.

Как видно из данных (табл. 11) потеря воды на испарение из дождевого облака при поливе дождевальной машиной ДКФ-1ПК колебались в диапазоне 4-29 %.

Таблица 11

**Потери воды на испарение при поливе дождевальной машиной ДКФ-1ПК в зависимости от метеоусловий**

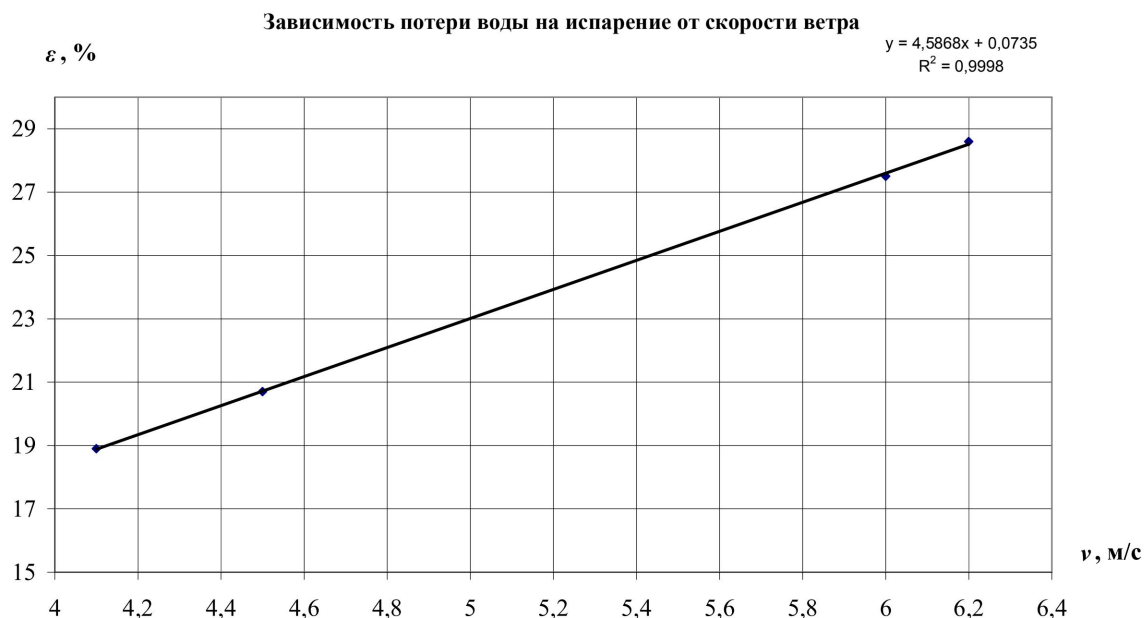
| Время проведения опыта | Температура воздуха, °С | Дефицит влажности воздуха, D, мб | Скорость ветра, v, м/с | Потери воды на испарение, % | Точность опыта, $S_{\kappa, \%}$ , % |
|------------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 7-35                   | 19,1                    | 6,7                              | 2,8                    | 4,3                         | 0,8                                  |
| 10-35                  | 24,1                    | 18,3                             | 4,8                    | 14,2                        | 1,2                                  |
| 11-58                  | 27,0                    | 25,3                             | 4,5                    | 20,7                        | 0,7                                  |
| 13-43                  | 27,1                    | 25,5                             | 6,2                    | 28,6                        | 1,8                                  |
| 15-02                  | 27,3                    | 25,6                             | 6,0                    | 27,5                        | 1,8                                  |
| 16-51                  | 27,4                    | 25,6                             | 4,1                    | 18,9                        | 1,3                                  |
| 18-00                  | 26,2                    | 24,9                             | 3,0                    | 13,7                        | 0,5                                  |
| 19-35                  | 23,8                    | 20,1                             | 3,1                    | 12,1                        | 0,9                                  |

Наблюдения показывают, что испарение воды в процессе полета капель, относится в основном к интервалу времени 12-16 часов, когда дефицит влажности воздуха и скорости ветра достигает своих максимальных суточных значений. Естественно, что при круглосуточной работе ДКФ-1ПК средние потери будут меньше.

Среднеквадратическое отклонение единичных измерений испарения дождя составило  $S=0,8$ , а средний показатель точности полевого опыта  $S_{\kappa, \%}=94$  %.

В результате анализа опытных данных, можно сделать вывод, что изменение скорости ветра (при относительно постоянных темпе-

ратурах и дефицита влажности воздуха) значительно влияет на испарение воды в процессе полета капель дождя. Зная, что скорость ветра меняется по высоте, обязательно следует учитывать высоту дождевального пояса над уровнем орошаемого участка (рис. 19).



**Рис. 19. Зависимость потерь воды на испарение от скорости ветра**

Установлено, что:

- величина испарения воды в процессе полета капель при дождевании существенно зависит от скорости ветра и при проектировании дождевальных машин высота консоли над уровнем орошаемого участка должна учитываться;

- в результате полученных опытных данных была установлена зависимость потерь воды на испарение от скорости ветра;

- уравнение, описывающее зависимость потерь воды на испарение от скорости ветра, аппроксимируемое линейное имеет вид:

$y = 4,58x + 0,07$  при величине достоверности аппроксимации  $R^2=0,99$ .

#### 4.5 Сток воды с поверхности почвы

Наблюдения за работой ДКФ-1ПК в полевых условиях показали, что вследствие большой интенсивности дождя после нескольких проходов агрегата, особенно на коротких бьефах, на поверхности поливного участка образуются лужи задолго до выдачи поливной нормы (400-450 м<sup>3</sup>/га), что приводит к неравномерному увлажнению почвы (переувлажнение в понижениях и недоувлажнения возвышенностей).

Исследованиями А.Н. Костякова, В.Я. Чичасова, А.А. Черкасова и других установлено, что глубина просачивания почв и величина поливных норм до образования луж в значительной степени зависит от средней интенсивности дождевания [46, 98, 100].

Известные исследования позволяют указать примерные значения средней интенсивности дождя, при нормах полива 300-400 м<sup>3</sup>/га, для средних и тяжелосуглинистых почв – 0,1-0,2 мм/мин [63].

Средняя интенсивность дождя для машин, работающих в движении, определяется длиной бьефа, при постоянной ширине захвата и выражает среднюю плотность дождя во время полива. Показатель этот относительный и определяется по формуле:

$$\rho_{cp.} = \frac{h}{t}, \text{ мм/мин,}$$

где  $h$  – слой осадков за один проход в мм;

$t$  – интервал времени между проходами в минутах.

Слой дождя за один проход дождевальной машины определяется:

$$h = \frac{60Q}{v \cdot b},$$

где  $v$  – скорость движения агрегата, м/мин;

$b$  – ширина захвата дождем, м.

Интервал времени между проходами рассчитывается:

$$t = \frac{L}{v}, \text{ мин,}$$

где  $L$  – длина бьефа, м,

Подставляя значения из предыдущих формул, можно определить среднюю интенсивность дождя для машин, работающих в движении:

$$\rho_{chl} = \frac{60Q}{Lb},$$

Из формулы видно, что средняя интенсивность дождя не зависит от скорости движения агрегата, а зависит от длины гона (бьефа) и расхода дождевальная машины. Вычисления представлены в табл. 12.

Таблица 12

**Расчетная интенсивность дождя при разной длине бьефа  
и ширине захвата**

| Вариант | Длина бьефа, м | Ширина захвата, м                     |        |
|---------|----------------|---------------------------------------|--------|
|         |                | 100                                   | 50     |
|         |                | Расчетная интенсивность дождя, мм/мин |        |
| 1       | 100            | 0,42                                  | 0,5250 |
| 2       | 200            | 0,21                                  | 0,2625 |
| 3       | 300            | 0,14                                  | 0,1750 |

Для оценки достоверности экспериментальных данных применены методы математической статистики [31] и теории случайных ошибок [52]. Полученные в результате исследований данные обрабатывались следующим образом.

Определялось среднее значение выборочной совокупности данных по формуле:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^z x_i n_i}{n_x},$$

Среднеквадратическое отклонение определялось по выражению:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^z (x_i n_i - n_x \bar{x})^2}{n_x - 1}},$$

где  $\sum_{i=1}^z (x_i n_i - n_x \bar{x})^2$  – сумма квадратов отклонений отдельных значений выборки от среднего арифметического.

Коэффициент вариации определялся по выражению:

$$\bar{m} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}},$$

Показатель точности определялся по выражению:

$$\bar{P}_x = \pm \frac{\bar{m}}{\bar{x}} 100\%,$$

При построении графических зависимостей по экспериментальным данным использовался метод наименьших квадратов.

Согласно вышеприведенной методике были проведены опыты по определению величины стока при разном числе проходов дождевальной машины ДКФ-1ПК с изменением длины бьефа.

Поливы проводили на капустном поле второго года пользования, при влажности почвы в пределах 75-80 % полевой влагоемкости.

После каждого прохода машины определяли фактическую величину среднего слоя осадков с помощью дождемеров. Дождемеры были установлены вблизи стоковых площадок согласно методике. Повторность опытов трехкратная.

Наблюдения за процессом стока с поверхности почвы и обработка полученных данных показали, что образование стока воды произошло на 60 м бьефе после третьего прохода дождевальной машины, а после седьмого прохода разовый сток воды составил свыше 50 % объема дождя за один проход. При увеличении длины бьефа до 200 м начало образования стока воды намечено после четвертого прохода, а разовый сток воды, составивший более 50 % объема дождя за один проход, образовался во время двенадцатого прохода.

Влияние длины бьефа на величину поливной нормы и размер стока воды с поверхности почвы показаны в табл. 13.

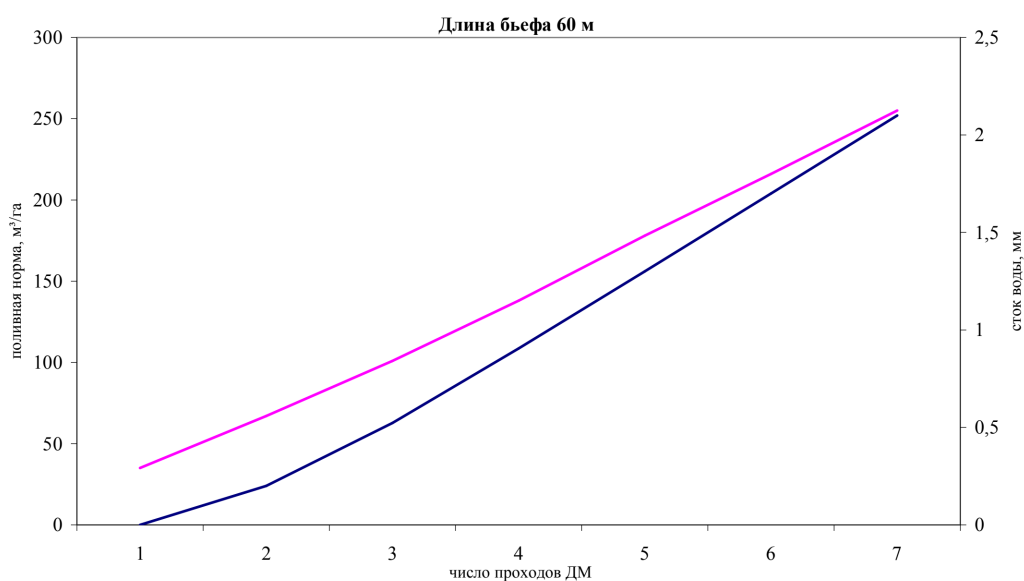
Из полученных данных видно, что сток поливной воды образуется при длине участка одновременного полива до 60 м после третьего прохода машины. И практически при такой длине бьефа больше семи проходов машины делать нельзя. Это значит, что поливная норма во время полива дождевальной машиной ДКФ-1ПК может быть не более 260 м<sup>3</sup>/га (рис. 20).



Таблица 13

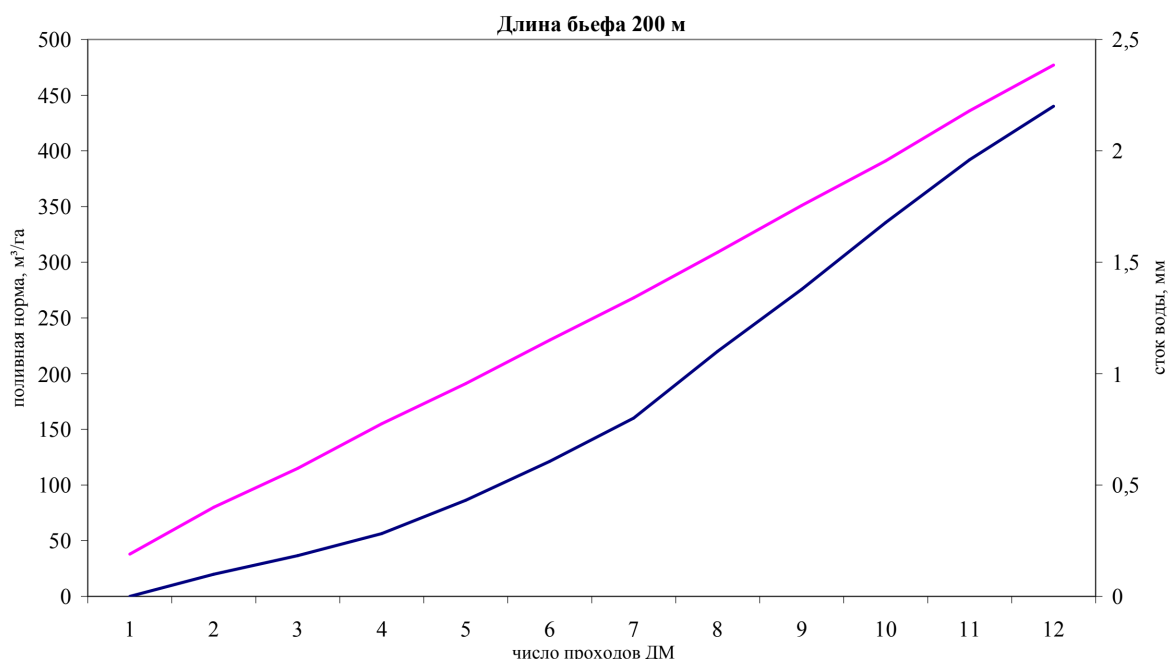
**Влияние длины бьефа на величину стока воды при поливе  
дождевальной машины ДКФ-1ПК**

| Число проходов | Длина бьефа, м                        |                       |                                            |                                 |      |                                       |                       |                                            |                            |      |
|----------------|---------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|------|---------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|----------------------------|------|
|                | 60                                    |                       |                                            |                                 |      | 200                                   |                       |                                            |                            |      |
|                | Слой дождя<br>за один про-<br>ход, мм | Поливная<br>норма, мм | Разовый сток<br>воды за один<br>проход, мм | Интеграль-<br>ный слой<br>стока |      | Слой дождя<br>за один про-<br>ход, мм | Поливная<br>норма, мм | Разовый сток<br>воды за один<br>проход, мм | Интегральный<br>слой стока |      |
|                |                                       |                       |                                            | мм                              | %    |                                       |                       |                                            | мм                         | %    |
| 1              | 3,5                                   | 3,5                   | -                                          | -                               | -    | 3,8                                   | 3,8                   | -                                          | -                          | -    |
| 2              | 3,2                                   | 6,7                   | -                                          | -                               | -    | 4,2                                   | 8,0                   | -                                          | -                          | -    |
| 3              | 3,4                                   | 10,1                  | 0,8                                        | 0,8                             | 7,9  | 3,5                                   | 11,5                  | -                                          | -                          | -    |
| 4              | 3,7                                   | 13,8                  | 1,1                                        | 1,9                             | 13,8 | 4,0                                   | 15,5                  | 0,2                                        | 0,2                        | 1,3  |
| 5              | 4,0                                   | 17,8                  | 1,3                                        | 3,2                             | 18,0 | 3,6                                   | 19,1                  | 0,3                                        | 0,5                        | 2,6  |
| 6              | 3,8                                   | 21,6                  | 1,8                                        | 5,0                             | 23,1 | 3,9                                   | 23,0                  | 0,5                                        | 1,0                        | 4,3  |
| 7              | 3,9                                   | 25,5                  | 2,1                                        | 7,1                             | 27,8 | 3,8                                   | 26,8                  | 0,8                                        | 1,8                        | 6,7  |
| 8              |                                       |                       |                                            |                                 |      | 4,1                                   | 30,9                  | 1,1                                        | 2,9                        | 9,4  |
| 9              |                                       |                       |                                            |                                 |      | 4,2                                   | 35,1                  | 1,5                                        | 4,4                        | 12,5 |
| 10             |                                       |                       |                                            |                                 |      | 4,0                                   | 39,1                  | 1,7                                        | 6,1                        | 15,6 |
| 11             |                                       |                       |                                            |                                 |      | 4,5                                   | 43,6                  | 2,0                                        | 8,1                        | 18,6 |
| 12             |                                       |                       |                                            |                                 |      | 4,3                                   | 47,7                  | 2,2                                        | 10,3                       | 21,5 |



**Рис. 20. Зависимость выдачи поливной нормы при длине бьефа 60 м**

Увеличение длины бьефа до 200 м позволило увеличить число проходов дождевальной машины (до 12-13) и довести поливную норму до 450-500 м<sup>3</sup>/га (рис. 21).



**Рис. 21. Зависимость выдачи поливной нормы при длине бьефа 200 м**

В результате проведенных опытов было установлено, что при орошении ДМ ДКФ-1ПК капустного поля второго и последующих лет пользования для выдачи поливной нормы длину участка одновременного полива следует принимать в пределах 150-200 м.

## **5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ ДКФ-1ПК**

Уровень механизации полива сельскохозяйственных культур зависит от надежности конструкции дождевальной машины и рациональной организации ее работы, обеспечивающей высокий коэффициент использования рабочего времени агрегата на протяжении всего вегетационного периода.

Установление технико-эксплуатационных показателей дождевальной машины ДКФ-1ПК и дождевальной машины — аналога ДДА-100ВХ велось как непосредственно при натурных исследовани-

ях, так и при помощи камеральной обработки данных хронометражных наблюдений.

Определение эксплуатационно-технологических показателей проводилось по ГОСТ 24055, ГОСТ 24057 и СТО АИСТ 11.1-2004 [21, 22, 90].

Производительность ( $W_0$ ) за 1 час основного времени дождевальных машин в гектарах (без учета расхода воды на испарение и снос ветром) вычисляют по формуле:

$$W_0 = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{общ}}}{m_n},$$

где  $Q_{\text{общ}}$  – общий расход воды, измеренный водомером, дроссельным прибором или объемным способом, л/с;

$m_n$  – поливная норма (среднезональная или условная), м<sup>3</sup>/га.

Удельные затраты времени на технологические переезды ( $P_{22}$ ) вычисляют по формуле:

$$P_{22} = \frac{\bar{t}_{22} \cdot Q_{\text{общ}}}{1000 \cdot f_1 \cdot m_c} + \frac{10 \cdot l_m \cdot Q_{\text{общ}}}{B_1 \cdot l_z \cdot m_n \cdot v_m},$$

где  $\bar{t}_{22}$  – среднее время одного технологического переезда от гидранта к гидранту или от позиции к позиции на временном оросителе, с;

$l_m$  – среднее расстояние технологического переезда от оросителя к оросителю, м;

$f_1$  – площадь, орошаемая с одной позиции (одного гидранта), га;

$B_1$  – расстояние между оросителями, м;

$l_z$  – среднезональная нормативная длина гона, м;

$v_m$  – средняя транспортная скорость, м/с;

$m_c$  – норма полива до стока, м<sup>3</sup>/га.

Примечание. При  $m_c > m_n$  принимают  $m_c = m_n$ .

Удельные затраты времени на технологическое обслуживание ( $P_{23}$ ) вычисляют по формуле:

$$P_{23} = \frac{\bar{t}_{23} \cdot Q_{\text{общ}}}{1000 \cdot f_1 \cdot m_c} + \frac{10 \cdot \bar{t}_{23} \cdot Q_{\text{общ}}}{B_1 \cdot l_z \cdot m},$$

где  $\bar{t}_{23}$  – среднее время одного технологического обслуживания, связанного с технологическим переездом, с.

Удельные затраты времени на плановое техническое обслуживание ( $P_{31}$ ) вычисляют по формуле:

$$P_{31} = \frac{T_{31}}{T'_1},$$

где  $T_{31}$  – продолжительность планового технического обслуживания всех видов, ч;

$T'_1$  – наработка за период испытаний, ч.

Удельные затраты времени на подготовку к работе ( $P_{32}$ ) вычисляют по формуле:

$$P_{32} = \frac{\bar{t}_{32} \cdot Q_{общ}}{1000 \cdot S_n \cdot m_n} + \frac{\bar{t}_{32} \cdot Q_{общ}}{1000 \cdot F_{он} \cdot m_n},$$

где  $\bar{t}_{32}$  – среднее время подготовки к транспортному переезду и к работе после транспортного переезда, с;

$S_n$  – среднезональный нормативный размер поля, га;

$F_{он}$  – проектная обслуживаемая площадь орошения, га.

Удельные затраты времени на проведение наладок и регулировок ( $P_{33}$ ) вычисляют по формуле:

$$P_{33} = \frac{T_{33}}{T''_1},$$

где  $T_{33}$  – общее время наладок и регулировок, ч;

$T''_1$  – время основной работы, в течение которого определено  $T_{33}$ , ч.

Удельные затраты времени на устранение технологических отказов ( $P_{41}$ ) вычисляют по формуле:

$$P_{41} = \frac{T_{41}}{T_1},$$

где  $T_{41}$  – общее время устранение технологических отказов за период испытаний, ч.

Коэффициент надежности технологического процесса ( $K_{41}$ ) вычисляют по формуле:

$$K_{41} = (1 + P_{41})^{-1},$$

Удельные затраты времени на устранение технологических неисправностей ( $P_{42}$ ) вычисляют по формуле:

$$P_{42} = \frac{1 - K_z}{K_z},$$

где  $K_z$  – коэффициент готовности.

Удельные затраты времени на транспортные переезды ( $P_6$ ) вычисляют по формуле:

$$P_6 = \frac{\bar{t}_6 \cdot Q_{общ}}{1000 \cdot F_{он} \cdot m_n} + \frac{l_n \cdot Q_{общ}}{1000 \cdot S_n \cdot m_n \cdot v_m},$$

где  $\bar{t}_6$  – время переезда на исходную позицию (к исходному гидранту), с;

$l_n$  – среднезональное нормативное расстояние переезда с поля на поле, м.

Удельные затраты времени на ежесменное техническое обслуживание энергосредства ( $P_{71}$ ) вычисляют по формуле:

$$P_{71} = \frac{T_{71}}{T_1'''},$$

где  $T_{71}$  – норматив времени на ежесменное техническое обслуживание энергосредства, ч;

$T_1'''$  – периодичность ежесменного технического обслуживания энергосредства, ч (принимается равным 10 ч согласно ГОСТ 20793-81).

Удельные затраты сменного времени ( $P_{см}$ ) вычисляют по формуле:

$$P_{см} = P_1 + P_2 + P_3 + P_{41} + P_6 + P_{71},$$

где  $P_1$  – удельные затраты основного времени ( $P_1 = 1$ );

$$P_2 = P_{22} + P_{23},$$

$$P_3 = P_{31} + P_{32} + P_{33}.$$

Коэффициент использования сменного времени ( $K_{см}$ ) вычисляют по формуле:

$$K_{см} = P_{см}^{-1}$$

Производительность за 1 час сменного времени ( $W_{см}$ ) в гектарах за 1 час вычисляют по формуле:

$$W_{см} = W_0 \cdot K_{см}$$

Удельные затраты эксплуатационного времени ( $P_{эк}$ ) вычисляют по формуле:

$$P_{эк} = P_{см} \cdot P_{42}$$

Коэффициент использования эксплуатационного времени ( $K_{эк}$ ) вычисляют по формуле:

$$K_{эк} = P_{эк}^{-1}$$

Производительность за 1 час эксплуатационного времени ( $W_{эк}$ ) в гектарах за 1 час вычисляют по формуле:

$$W_{эк} = W_0 \cdot K_{эк} \cdot$$

Результаты расчетов эксплуатационно-технологических показателей представлены в табл. 14.

Таблица 14

**Расчетные величины показателей дождевальных машин**

| Показатель                                    | Значение показателя     |           |
|-----------------------------------------------|-------------------------|-----------|
|                                               | ДКФ-1ПК                 | ДДА-100ВХ |
| Режим работы:                                 |                         |           |
| Рабочая скорость движения, вперед/назад, км/ч | 1,02/0,63               | 1,02/0,63 |
| Ширина захвата, м                             | 121                     | 123       |
| Производительность за 1 ч., га:               |                         |           |
| - основного времени                           | 1,01                    | 1,08      |
| - сменного времени                            | 0,647                   | 0,594     |
| - эксплуатационного времени                   | 0,635                   | 0,570     |
| Эксплуатационно-технологические коэффициенты: |                         |           |
| - технологического обслуживания               | 0,86                    | 0,83      |
| - надежности технологического процесса        | 0,998                   | 0,961     |
| - использования сменного времени              | 0,641                   | 0,55      |
| - использования эксплуатационного времени     | 0,629                   | 0,528     |
| Количество обслуживающего персонала           | Тракторист, поливальщик | 2         |

Анализ данных таблицы показывает, что производительность за час основного времени у ДКФ-1ПК больше на 0,07 больше чем у ДДА-100ВХ. Коэффициент надежности технологического процесса у ДКФ-1ПК составляет 0,998, против 0,961 у ДДА-100ВХ, вследствие меньшего количества отказов и меньшего времени на их устранение.

С учетом новых принципов хозяйствования в условиях рыночных отношений определение экономической эффективности технологии и сельскохозяйственной техники значительно усложняется. В предлагаемом расчете использовались как отдельные положения ранее действовавших методик и стандартов, так и современные рекомендации по определению экономической эффективности [60, 61, 107].

Прогнозируемая экономическая эффективность определяется в следующей последовательности:

- проводится сравнительный анализ технико-экономических параметров существующих и новых машин;
- расчет показателей экономической эффективности: основных и дополнительных по новому и базовому варианту и выявление наиболее эффективного варианта по выбранным показателям;
- установление границ применимости новой техники и технологии.

В качестве базового объекта экономической оценки была выбрана дождевальная машина ДДА-100ВХ в комплексе с трактором ДТ-75. За новый вариант была принята исследуемая дождевальная машины ДКФ-1ПК соответственно с трактором ДТ-75, снабженная серийными дождевальными насадками и работающая в режимах, предусмотренных технической характеристикой.

Показателем сравнительной эффективности вариантов внедрения является минимум приведенных затрат. Они представляют собой сумму текущих (прямые эксплуатационные затраты) и единовременных (капитальные вложения) затрат.

$$\Pi = I + K \cdot E,$$

где  $I$  – прямые эксплуатационные затраты на единицу наработки, руб./ед. наработки;

$E$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

$K$  – капитальные вложения на единицу наработки, руб./ед. наработки, определяют по формуле:

$$K = B / (W_{\text{эк}} \cdot T_3),$$

где  $W_{\text{эк}}$  – производительность агрегата или рабочего за 1 ч эксплуатационного времени, ед. наработки/ч;

$B$  – балансовая цена машины, руб.;

Для дождевальнoй машины ДКФ-1ПК –  $K=759,54$  руб./га и 387,67 руб./га, для ДДА-100ВХ –  $K=1422,91$  руб./га и  $I=488,91$  руб./га следовательно, имеем снижение приведенных затрат (501 руб./га и 702 руб./га соответственно) на 30 %.

Годовую экономию труда при эксплуатации новой машины ( $Z_e$ ) в человеко-часах определяют по формуле:

$$Z_e = (Z_{m.б} - Z_{m.н}) \cdot B_{зон};$$

где  $Z_{m.б}$  и  $Z_{m.н}$  – затраты труда на единицу наработки базовой, новой машины, чел.-ч/ед наработки.

Так за счет снижения трудоемкости механизированных работ имеем годовую экономию труда при эксплуатации ДКФ-1ПК – 142,24 чел-час.

Годовая экономия прямых эксплуатационных затрат:

$$\mathcal{E}_u = (I_{б} - I_{н}) \cdot B_{зон};$$

где  $I_{б}$  и  $I_{н}$  – общие прямые эксплуатационные затраты соответственно по базовой и новой машинам, руб.;

$B_{зон}$  – зональная годовая наработка новой машины.

Проведенные расчеты показали, что годовая экономия прямых эксплуатационных затрат ДКФ-1ПК в сравнении с ДДА-100ВХ 51 тыс. руб.

Годовой приведенный экономический эффект от эксплуатации новой машины ( $\mathcal{E}_e$ ) в рублях определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_e = B_{зон}(П_{б} - П_{н} + \mathcal{E});$$

где  $П_{б}$ ,  $П_{н}$  – приведенные затраты на единицу наработки по базовой и новой машинам соответственно, руб./ед. наработки;

$\mathcal{E}$  – экономический эффект от высвобождения рабочей силы, достигнутых условий труда, от изменения количества и качества продукции на единицу наработки, руб./ед. наработки.

Так годовой приведенный экономический эффект от эксплуатации ДКФ-1ПК составил 105 тыс. руб.

Экономический эффект от использования за срок службы новой машины ( $\mathcal{E}_{с.с}$ ) в рублях определяют по формуле:

$$\mathcal{E}_{с.с} = \mathcal{E}_e / (a_n + E);$$

где  $a_n$  – коэффициент отчислений на реновацию по новой машине;

Полная экономия затрат на стадиях производства и эксплуатации ДМ ДКФ-1ПК за весь срок службы составит 380 тыс. руб.



## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В результате анализа современного состояния в отрасли было установлено, что, начиная с 1990 года происходило, непрерывное сокращение площадей орошаемых сельскохозяйственных угодий в Ростовской области (на 45 %). Основное сокращение орошаемых площадей, в основном, произошло за счет вывода из орошения хозяйственных оросительных систем. В настоящее время требует проведения капитальных работ на 46 %, а полная замена требуется на 22 % закрытой мелиоративной сети в целом.

С 1990 года начался спад в обеспеченности поливной техникой орошаемых площадей. К 1995 году по сравнению с 1990 годом количество единиц дождевальной техники снизилось с 3850 единиц до 2414 единиц. В последующие годы эта тенденция сохранилась. К 2005 году общее количество единиц дождевальной техники в области снизилось с 2414 до 976 единиц, из которых 585 единиц с истекшим сроком эксплуатации, что составляет 57,8 % от общей численности. Прогнозные расчеты показывают, что уже к 2008 году в области будет поливаться лишь 4 % от всей орошаемой площади.

2. Поскольку в агроклиматических условиях Ростовской области интенсивное овощеводство возможно только в условиях орошения, то к технологическому процессу дождевания, включающему в себя выдачу требуемой поливной нормы, равномерности полива по орошаемой площади без образования поверхностного стока и сохранения структуры почвы, предъявляются дополнительные требования. А именно: подачу воды в нужном количестве, в требуемые сроки в соответствии с биологическими фазами развития растений; увлажнение почвенных горизонтов в соответствии с размещением корневой системы растений; создание требуемого микроклимата для надземной части растений; исключение механических повреждений каплями дождя стеблей, листьев, соцветий, плодов, набрасывание почвы на надземные части растений и др.; работа дождевальной машины должна вписываться в общий технологический процесс, в лучшие для полива агротехнические сроки, без ухудшения условий работы других сельскохозяйственных машин при рациональной организации территории обслуживания механизированным комплексом.

3. Ежегодное сокращение парка дождевальных машин по причине морального и физического износа вызывает необходимость раз-

работки и производства новой дождевальной техники. По результатам мониторинга наличия и состояния поливной техники в Ростовской области был сделан вывод, что наиболее целесообразной для полива овощных культур, является использование поливной техники работающей из открытых оросителей и автономными энергоносителями. Одним из выходов из создавшейся ситуации является разработка новой дождевальной машины фронтального действия серии ДКФ, созданной в ФГНУ «РосНИИПМ» с участием автора. ДМ ДКФ имеет агротехнические показатели, отвечающие современным требованиям к дождевальным машинам, мобильна, работает с забором воды из открытых оросителей и имеет возможность регулирования высоты дождевального крыла над орошаемым участком, что позволяет уменьшить энергетическое воздействие дождя на почву и растения.

4. На основании экспериментально-полевых исследований было установлено, что количество капельной воды в  $1 \text{ м}^3$  дождевого пространства у ДКФ-1ПК ( $10,7 \text{ см}^3$ ) больше, чем у ДДА-100ВХ ( $6,9 \text{ см}^3$ ), дающее возможность создания лучшего микроклимата для надземной части овощных культур. Давление дождя у дождевальной машины ДКФ-1ПК меньше, чем у ДДА-100ВХ и соответственно составляет для исследуемой  $0,06 \text{ гс/м}^2$  против  $0,08 \text{ гс/м}^2$  у серийной, что приводит к исключению механических повреждений каплями дождя стеблей, листьев, плодов, соцветий, набрасывания почвы на надземные части растений, исключение дезагрегации почвы дождем, уплотнение верхнего слоя.

5. Результаты исследований равномерности полива овощных культур при скорости ветра  $5 \text{ м/с}$  показали, что коэффициент эффективного полива при пониженной консоли на  $50 \text{ см}$  выше, чем у стандартной, и составляет  $0,615$  и  $0,553$  соответственно. Такая характеристика дождя позволяет увеличить время работы дождевальной машины ДКФ-1ПК до  $50 \%$  в связи с возможностью работы при скорости ветра до  $9 \text{ м/с}$  с равномерностью полива отвечающего ОСТу. Увеличение времени работы равносильно увеличению производительности дождевальной машины в  $2,6$  раза, так как продолжительность ее использования с  $30 \%$  времени суток увеличится до  $80-90 \%$ . Это дает возможность одну и ту же площадь орошать в  $2-3$  раза меньшим парком машин.

В процессе работы дождевальной машины существует довольно тесная связь между испарением воды, временем полета капель и скоростью ветра, величина испарения воды в процессе полета капель при дождевании существенна и при проектировании дождевальных машин высота консоли над уровнем орошаемого участка должна учитываться, уменьшение высоты дождевального крыла дождевальной машины ДКФ-1ПК позволяет сократить время полета капель с 1,09 до 0,76 секунд, что уменьшит испаряемость из дождевого облака;

6. Годовой приведенный экономический эффект составил 104,465 тыс. руб. Это достигнуто за счет снижения приведенных затрат по исследуемой машине в сравнении с серийной на 28,58 (702,35 против 501,60 руб./га). Экономический эффект от производства и использования за срок службы дождевальной машины составил 379,873 тыс. руб. Срок окупаемости капитальных вложений составит 2,46 года.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агроэнергетическая оценка технологий лугового кормопроизводства / А.А. Кутузова, А.А. Зотов, А.А. Францева и др. // Кормопроизводство. – 1996. – № 1. – С. 2-7.
2. Алиев Б.Г. Изучение и обоснование рациональной технологии импульсного дождевания овощных культур в условиях Черноморского побережья Кавказа (06.01.02): Автореф. дис. ... канд. техн. наук – Новочеркасск, 1988. – 25 с.
3. Ахтанина А.М. Сельскохозяйственная мелиорация. – Минск, 1982. – 150 с.
4. Бенуа К.М. Метеорология. Изд. 2, исп. – М.-Л.: Военмориздат, 1941. – 504 с.
5. Богданов Н.И., Безруков Л.В., Плоская И.В. Физика в мелиорации и водном хозяйстве / Н.И. Богданов, Л.В. Безруков, И.В. Плоская. – Новочеркасск, 1992. – 195 с.
6. Бородычев В.В. Мелкодисперсное дождевание с/х культур в зоне сухих степей Нижнего Поволжья: Дис. ... д-ра с.-х. наук. – М., 1997. – 445 с.
7. Бредихин Н.П. Прибор для получения водяных капель КР-2. Ротапринт ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1986. – С. 23-28.
8. Бредихин Н.П. Улучшение качества полива дальнеструйными дождевальными машинами при ветре // Гидротехника и мелиорация. – 1970. – №8. – С. 69-77.
9. Вельбовец В.А. О дождевой воде на орошаемых полях и допустимой интенсивности искусственного дождя // Повышение эффективности орошаемого земледелия: Сб. науч. тр. – Одесса. – 1974.
10. Вершинин П.В. Почвенная структура и условия ее формирования. – М.: Изд. Академии наук СССР, 1958. – 188 с.
11. ВНИИМиТП Методика и система показателей экономической оценки работы дождевальной техники. – Коломна, 1973. – 18 с.
12. Волошков В.М. Пути устойчивого развития мелиорации в Ростовской области // Гидротехника и мелиорация. – 2001. – № 3.
13. Выбор и обоснование параметров короткоструйных насадок фронтальных машин, работающих в движении: Отчет о НИР / ВНИИМиТП; №ГР 0181.6008822; Инв. № 0282.4.028361. – Коломна, 1980. – 78 с.

14. Гаджиев Т.М. Влияние скорости ветра на равномерность распределения дождя. – Баку: АзНИИГиМ, 1966. – 45 с.
15. Гемфрис В.Д. Физика воздуха. – М.-Л.:ОНТИ, 1986.
16. Гниненко В.И. Полив дождеванием. – Новочеркасск: НГМА, 1997. – 168 с.
17. Гобеев А.Б., Губер К.В. Орошение овощных культур дождеванием. – М.: Россельхозиздат, 1980. – 72 с.
18. Голченко М.Г. Орошение дождеванием. – Минск: Ураджай, 1984. – 87 с.
19. Голы М. Оросительная мелиорация. – М.: Колос, 1977. – 188 с.
20. Городниченко В.Н. Оценка крупности капель // Основные направления технического прогресса в области механизации и техники. – М., 1983.
21. ГОСТ 24055-88. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки. Общие положения. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
22. ГОСТ 24057-88. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки машинных комплексов, специализированных и универсальных машин на этапе испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1988.
23. Губер К.В. Дождевальные машины и их применение. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 70 с.
24. Губер К.В., Лямперт Г.П., Храбров М.Ю. Требования, предъявляемые к дождевальной техники. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1998. – №8.
25. Гусейн-Заде С.Х. и др. Многоопорные дождевальные машины. – М.: Колос, 1976. – 176 с.
26. Дадио К.Т., Валлендер А.В. Определение размера капель дождя и выявление характера его распределения // Гидротехника и мелиорация. – 1975. – №10. – С. 23-34.
27. Дмитриев В.С. и др. Инструкция (временная) по определению экономической эффективности внедрения новой техники и научно-исследовательских работ в мелиорации и водном хозяйстве. – М., 1976. – 81 с.
28. Дождевание в США. – М.: Минводхоз СССР, 1973. – 177 с.

29. Дождевание сельхозкультур: Сб. науч. тр. / ВНИИМиТП. Том 3. – Коломна: Минводхоз СССР, 1972. – 312 с.
30. Дождевание сельхозкультур: Сб. науч. тр. / ВНИИМиТП. – Том 4. – Коломна: Минводхоз СССР, 1973. – 270 с.
31. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 3-е изд. перераб и дополн. – М.: Колос, 1973. – 336 с.
32. Заславский М.Н. Эрозиоведение. Основы противоэрозионного земледелия. – М.: Высшая школа, 1987. – 376 с.
33. Заславский М.Н., Каштанов А.Н. Почвозащитное земледелие. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 207 с.
34. Исаев А.П. Гидравлика дождевальных машин. – М., 1968.
35. Исаев А.П. К расчету параметров искусственного дождя. Докл. ВАСХНИЛ № 1. – 1968.
36. Исаев А.П. Регулирование режимов работы дальнеструйных дождевальных машин и качества дождя // Гидротехника и мелиорация. – 1967. – № 2.
37. Качинский Н.А. Физика почвы. Водно-физические свойства и режим почв. – М.: Высшая школа, 1970. – Ч. 2. – 358 с.
38. Кашарина Т.П., Волошков В.М. Современное состояние мелиоративных систем Ростовской области // Мелиорация и водное хозяйство. – 1997. – № 1. – 26 с.
39. Кервалишвили Д.М. Дождевальные установки и вопросы их применения: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М. – 1970. – 45 с.
40. Кервалишвили Д.М., Наниташвили О.С. Результаты исследования допустимой интенсивности дождя, прерывистого дождевания и регулирования интенсивности дождя // Тр. ГрузНИИГиМ. – 1971. – Вып. 28. – С. 194-201.
41. Колесник Ф.И. Методы определения равномерности дождя при испытании дождевальных машин // Гидротехника и мелиорация. – 1959. – № 4. – С. 43-50.
42. Колесник Ф.И. Оценка качества искусственного дождя. // Гидротехника и мелиорация. – 1968. – №2.
43. Колесник Ф.И. Результаты государственных испытаний дождевальных машин и методы оценки качества их работы // Тр. ВИСХОМ. – 1960. – Вып. 6. – С. 128-143.

44. Корректировка поливного режима с/х культур с учетом потерь оросительной воды на испарение и унос ветром при работе дождевальных машин: (Временные рекомендации) / СтавНИИГиМ; сост. В.Е. Хабаров. – Ставрополь, 1981.
45. Костин И.С. Орошение в Поволжье. – М.: Колос, 1971. – 224 с.
46. Костяков А.Н. Основы мелиорации. 6-е изд. доп. и перераб. – М.: Сельхозиздат, 1960. – 622 с.
47. Кухта Г.М. Испытания сельскохозяйственных машин. – М.: Машиностроение, 1964. – 284 с.
48. Лебедев Б.М. Дождевальные машины. Изд. 2-е, перераб. и доп. – И.: Машиностроение, 1977. – 244 с.
49. Лебедев Г.В. Импульсное дождевание и водный обмен растений. – М.: Наука, 1969. – 279 с.
50. Лось М., Цымбар А. Сравнительные испытания новых дождевальных машин // Гидротехника и мелиорация. – 1969. – №10. – С. 53-63.
51. Максименко В.И., Эртель Д. Прогнозирование в науке и технике. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 232 с.
52. Математическая статистика. – М.: Высшая школа, 1975. – 398 с.
53. Меженский В.И. Прогноз эрозии почв при поливах дождеванием и меры по борьбе с ней: Автореф. дис. ... канд. техн. наук (06.01.02) – Новочеркасск, 1986. – 22 с.
54. Мелиоративная энциклопедия. А-К; том. 1. – М., 2003. – 672 с.
55. Мелиоративная энциклопедия. К-П; том. 2. – М., 2004. – 444 с.
56. Мелиоративная энциклопедия. П-Я; том. 3. – М., 2004. – 439 с.
57. Мелиоративное почвоведение. – Ростов-на-Дону, 1987. – 119 с.
58. Мелиоративные машины. Подборка иностранной литературы за 1971-1980 гг. Количество источников – 60. – Новочеркасск, 1986. – 260 с.

59. Мелкодисперсное дождевание с/х культур: Учеб. пособие / Ю.А. Скобельцын, А.Д. Гумбарев, Г.А. Сенчуков и др. – Краснодар, 1990. – 126 с.
60. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. – Москва, 1998.
61. Методика оценки эффективности дождевальных машин. – М.: ЦНИИТЭИ В / О Союзсельхозтехника, 1975.
62. Методические рекомендации по определению сравнительной эффективности при создании и внедрении новой техники и прогрессивной технологии в мелиорации нечерноземной зоны РСФСР. – Л., 1977. – 237 с.
63. Методические рекомендации по орошению основных овощных культур на Дону. – Новочеркасск, 1986. – 76 с.
64. Методические указания по сбору исходной информации и разработке прогноза развития механизации мелиоративных работ к «Системе машин» на 1996-2005 гг. – М.: ВНИИГиМ, 1991. – 15 с.
65. Методические указания по статистической обработке экспериментальных данных в мелиорации и почвоведении. – СевНИИГиМ и М.-Л., 1977.–244 с.
66. Миленин Б.О. Исследование интенсивности искусственного дождя: Сб. Гидротехника и мелиорация. – М.: Колос. – 1968.
67. Миленин Б.О. О выборе основных параметров дождя для оценки дождевальных машин и установок // Гидротехника и мелиорация. – 1979. – № 8. – С. 77-81.
68. Москвичев Ю.А. Методика определения скорости впитывания воды в почву при дождевании для расчета допустимой интенсивности / Ю.А. Москвичев, Н.С. Ерхов, М.И. Бычков // Сб. науч. тр. ВНИИМ и ТП. – 1973. – Т. 1V. – С. 129-138.
69. Назаренко В.А., Шишкин В.О., Селюков В.И. Орошение земель в Ростовской области: результаты и проблемы. // Мелиорация и водное хозяйство. – 1997. – №2. – С. 2.
70. Носенко В.Ф. Оценка гидравлических характеристик дождевальных машин «Кубань» / В.Ф. Носенко, В.Г. Луцкий, С.С. Савушкин // Гидротехника и мелиорация. – 1983. – №5. – С. 41-43.
71. Ольгаренко В.И., Ольгаренко Г.В. Ретроспективный анализ ГМС на основе закона стадийного развития техники // Мелиорация и водное хозяйство. – 1998. – № 1.



72. Определение размера капель и равномерности полива при использовании низконапорных дождевателей. – Новочеркасск: Юж-НИИГиМ, 1987. – 533 с.
73. Орошаемое земледелие в Ростовской области. Справочные материалы. Минводхоз РСФСР. – М., 1986. – 84 с.
74. ОСТ 70.2.19-73. Испытание сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки специализированных машин. – М.: Изд-во стандартов, 1973.
75. Петрунин В.П. Проектирование орошения дождеванием. Метод. пособие для студентов гидромелиор. специальности очного и заоч. образования / Сост. канд. техн. наук. доц. Петрунин В.П. – Новочеркасск: НИМИ, 1975. – 75 с.
76. Побережский Л.Н., Трофимов Г.Н. Водный баланс зоны аэрации в условиях орошения. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 159 с.
77. Полуэктов Е.В., Турулев В.В. Водопроницаемость и эрозия почв. Учебное пособие – Новочеркасск, 1994. – 129 с.
78. Поморцев М.М. Исследования, относящиеся к скоростям и направлениям ветра на разных высотах. – В. кн.: Воздухоплавание и исследование атмосферы. – С-Петербург, 1897. – Вып. 3. – С. 15-48.
79. Предложения по разработке единой методики оценки качества полива в условиях сложного рельефа: Отчет о НИР (заключительный) / ЮжНИИГиМ; Руководители: Д.А. Штоколов, Н.П. Бредихин. – 2.3.1.1.; № ГР 01.20.02.7853; Инв. № 0220020. – Новочеркасск.
80. Проблемы и перспективы мелиорации на нижнем Дону: Сб. науч. тр. / Щедрин В.Н., Шишкин В.О., Бурдун А.А. и др.; – Юж-НИИГиМ. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2000. – 76 с.
81. Раджаб Т.Н. Исследование влияния интенсивности дождя на время затопления поверхности почвы // Гидротехника и мелиорация. – 1980. – № 2.
82. Ревут И.Б. Физика почв. – Л.: Колос, 1972. – 366 с.
83. Рекомендации по улучшению использования орошаемых земель в Ростовской области. – Новочеркасск, 1981. – 112 с.
84. Ресурсосбережение при технической эксплуатации сельскохозяйственной техники. – М.: ФГНУ «Росинформагротех». – Ч. 1. – 2001. – 360 с.

85. Руководство по предупреждению и регулированию эрозии почв при поливах дождеванием / НГМА: Разраб. Поляков Ю.П. – Новочеркасск, 1998. – 52 с.

86. Сапункова Н.В. Исследование техники и качества полива культурных пастбищ дождеванием в Волго-Донском междуречье. Дис. ... канд. техн. наук. – Волгоград, 1975. – 206 с.

87. Состояние, прогноз и концепция развития мелиорации сельскохозяйственных земель Ростовской области. МСХ и П РФ, РАСХН, Депмелиоводхоз РФ. – Новочеркасск, 1999. – 219 с.

88. Справочные материалы «Орошаемое земледелие в Ростовской области». – Ростов-на-Дону, 1986.

89. Спринжер Д.С. Эрозия при воздействии капель жидкости. – М.: Машиностроение, 1981.

90. СТО АИСТ 11.1-2004. Машины и установки дождевальные. Методы оценки функциональных показателей. – М., 2004. – 64 с.

91. Структура дождя при искусственном дождевании культур. Поспелов А.М., Абрамов Ф.Г. // Труды ВНИИГиМ: Дождевание. – Т. 3. – М., 1940.

92. Техника полива сельскохозяйственных культур. – М., 1970. – 226 с.

93. Фатеев Е.М. Ветродвигатели и их применение в сельском хозяйстве // Пособие для преподавателей и мастеров производственного обучения, сельских проф.- тех. училищ. Изд. 3-е, доп. и перераб. – М., 1962. – 247 с.

94. Флоринский О.С. Совершенствование способов регулирования эрозии почв при орошении дождеванием в предгорной зоне Северо-Кавказского региона (в 2 т): Дис. ... канд. техн. наук. – Новочеркасск, 1999.

95. Фокин Б.П. Повышение эффективности полива многоопорными дождевальными машинами: Дис. ... д-ра техн. наук. – Ставрополь, 2002. – 313 с.

96. Фукусакура Н.А. Факторы, влияющие на интенсивность эрозии почвы. // Гидротехника и мелиорация. – 1976. – № 7.

97. Ханзафаров В.В. Потери воды на испарение с поверхности капель при поливе дождевальным агрегатом ДДФ-100 // Доклад ВАСХНИИЛ, 1981. – № 4. – С. 41-42.

98. Черкасов А.А. Мелиорация и сельскохозяйственное водоснабжение. – М.: Сельхозгиз, 1958. – 376 с.
99. Четыркин Н.В. Статистические методы прогнозирования. – М.: Статистика, 1975. – 184 с.
100. Чичасов В.Я. Опыт применения мелкодисперсного дождевания сельскохозяйственных культур. – М., 1978. – 59 с.
101. Штангей А.И. Испарение воды с дождевого облака при поливе машиной «Фрегат» // Метеорология и гидрология. – 1977. – № 10. – С. 76-82.
102. Штангей А.И., Шпак И.С. Испарение воды в процессе движения капель при поливе дождевальной установкой ДДА-100М // Метеорология и гидрология. – 1975. – № 11. – С. 100-105.
103. Шумаков Б.Б., Носенко В.Ф., Шейнкин Г.Ю. Основные направления совершенствования техники полива в СССР // Гидротехника и мелиорация. – 1975. – № 7. – С. 100-109.
104. Щедрин В.Н. Орошение сегодня: проблемы и перспективы. – М.: ФГНУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2004. – 255 с.
105. Щедрин В.Н. Перспективные направления развития дождевальной техники / В.Н. Щедрин, А.Ф. Колганов, Ю.Ф. Снопич // Мелиорация и водное хозяйство. – 2003. – № 5. – С. 20.
106. Щедрин В.Н. Совершенствование конструкции открытых оросительных систем и управления водораспределением // Мелиорация и водное хозяйство. – 1998. – 160 с.
107. Экономия энергозатрат и повышение экологической безопасности полива: Сб. науч. тр. / СтавНИИГиМ, Редкол. Г.В. Донской и др. – Ставрополь, 1995. – 68 с.
108. Droplet size distribution the water application with now. Plesure Splinklers. – 1985. – 243 p.
109. Lionel R. Mechanized sprinkler irrigation / R. Lionel // FAO, Rome. – 1982 – P. 1-409.
110. Okamura S. Rozdeleni vefikosti vodnichkapek v papzsku z postrikovase. Vodni hospodazstvi, Chechoslovakiy. – 1971. – t. 21. – №2. – P. 52-55.
111. Rossi A.J. Meccanismi del dессесio del sudo ds pioggia. Irrigazione. – 1975. – 32 p.

Научное издание

Снипич Юрий Федорович

**Совершенствование технических средств  
орошения дождеванием**

Подписано в печать 05.02.2008. Формат 60х84 1/16.

Усл. печ. л. 6,8. Тираж 100 экз. Заказ 62.

Издательство ООО «Геликон»

Типография ЮРГТУ (НПИ)

346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

Тел., факс (863-52) 5-53-03. E-mail: [typography@novoch.ru](mailto:typography@novoch.ru)