

**Б.П. Фокин, А.К. Носов**



## **Современные проблемы применения многоопорных дождевальных машин**



**Пятигорск 2011**



Федеральное государственное унитарное предприятие  
СТАВРОПОЛЬСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ГИДРОТЕХНИКИ И МЕЛИОРАЦИИ  
(ФГУП «СТАВНИИГиМ»)

Открытое акционерное общество  
СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ИНСТИТУТ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ  
ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО И МЕЛИОРАТИВНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА  
(ОАО «СЕВКАВГИПРОВОДХОЗ»)

Б.П. Фокин, А.К. Носов

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГООПОРНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН**

Научное издание

Пятигорск 2011

УДК 631.347.3  
ББК 40.62

Б.П. Фокин, А.К. Носов

**Современные проблемы применения многоопорных  
дождевальных машин**

Научное издание. – Ставрополь, 2011. – с. 80

Рецензент: д.т.н. И.Ф. Юрченко

В монографии приводятся результаты исследований, связанных с взаимодействием воды и почвы, рассмотрены процессы ирригационной эрозии почв при дождевании и процессы влияния противоэрозионных обработок почвы на сток. Составлена классификация противоэрозионных мероприятий с указаниями по их применению. Сделан анализ технологий полива дождеванием и оценены возможности технических средств по их реализации. Большое внимание уделено качеству искусственного дождя и снижению энергоёмкости полива, в частности, переводу ДМ «Фрегат» на пониженное рабочее давление. Приведены примеры инженерных расчётов некоторых технических и технологических параметров дождевальных машин.

Большое внимание уделено описанию и анализу конструкций и параметров малоизвестных отечественных и разнообразных зарубежных многоопорных дождевальных машин фирм RDK, Valmont, WR, TL. Отмечены основные тенденции в развитии мирового ирригационного машиностроения.

Монография предназначена специалистам проектных, научных и производственных организаций, учебных заведений мелиоративного профиля при выборе, размещении орошаемых участков и эксплуатации дождевальной техники.

ISBN 978-5-91266-025-2

© ФГУП СТАВНИИГиМ, 2011

© ОАО «Севкавгипроводхоз», 2011

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время, несмотря на кризисное состояние, определяется будущее водных мелиораций. В связи с этим разрабатывается концепция возрождения мелиорации России. В её основу положена основная идея о необходимости преодоления тенденции сокращения орошаемых площадей и рационального использования сохранившегося мелиоративного фона с тем, чтобы на этой основе в дальнейшем обеспечить хотя бы небольшой, но стабильный прирост площадей поливных земель. В этой связи появляется проблема, на какой технической и технологической базе возрождать отечественную мелиорацию? Ясно, что, если делать это на уровне семидесятых-восьмидесятых годов, то мы отстанем от мирового технического прогресса навсегда. В связи с этим особую значимость приобретают разработки, связанные с повышением эффективности полива дождеванием и совершенствованием соответствующих технических средств.

В целом из множества сопутствующих возрождению проблем можно выделить непосредственно относящиеся к способу полива дождеванием:

- во-первых, отсутствие региональных научно-обоснованных и дифференцированных по условиям применения технологий, обеспечивающих высокое качество и экологическую безопасность полива;
- во-вторых, потребность в снижении энергозатрат при эксплуатации многоопорных дождевальных машин;
- в-третьих, отсутствие производства современных дождевальных машин.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области технического совершенствования многоопорных дождевальных машин и технологий полива дождеванием ведутся в нашей стране уже несколько десятилетий. От образца к образцу, от модификации к модификации они становились более надежными и производительными, менее материалоёмкими. Заметный качественный скачок произошел с освоением гидро -, а затем электропривода. Тем не менее, эксплуатируемые ныне машины разрабатывались исходя из научно-мелиоративных, технических и эколого-экономических воззрений шестидесятых-восьмидесятых годов, которые за последнее время претерпели существенные трансформации. В связи с этим, предполагая дальнейшее развитие дождевальной техники, необходим детальный анализ выполненных в этой области теоретических исследований и практических работ для выявления основных проблем, постановки соответствующих задач и определения путей их решения.

### **1. Процесс взаимодействия дождя и почвы**

В соответствии с современными взглядами основной целью сельскохозяйственных мелиораций является получение требуемого объема продукции соответствующего качества, придание земледелию устойчивого характера путем долговременного улучшения природной среды, вовлечения в оборот



малопродуктивных земель, создания и поддержания благоприятной мелиоративной обстановки, сохранения и повышения почвенного плодородия. Для этого, как указывалось еще в начале прошлого века [1], в засушливых районах необходимо орошение, причем, «...операция полива должна быть проведена таким образом, чтобы почва на всей площади получила равномерное увлажнение в количестве соответствующем установленной влажности». Увлажнить почву можно разными способами, в частности и таким, как дождевание, которое в большой мере приближено к природным процессам внесения влаги в почвенные структуры. Однако дождь не только увлажняет почвогрунты, но и при определенных условиях вызывает эрозионные явления, которые, в общем-то, известны давно, и к настоящему времени физическая суть процесса исследованиями, проводимыми уже более 100 лет, установлена весьма детально.

Одними из первых в области водной эрозии почв, вызываемой естественными дождями, были работы проведенные немецким ученым Вольни в период с 1877 по 1895 гг. [2]. На небольших делянках он изучал факторы, влияющие на задержание и поглощение почвой атмосферной влаги и разрушение ее верхних горизонтов. В первой половине прошлого века за рубежом наибольший объем работ в области эрозиоведения был выполнен в США, где в 1928-1933 годах было создано 10 опытных противоэрозионных станций, а затем их количество увеличилось вчетверо. В программы работ были включены опыты по борьбе с эрозией инженерными средствами и исследования стока с малых водосборов. В результате их деятельности были изучены, установлены и количественно оценены основные особенности эрозионных процессов. Следует отметить, что это были годы великого кризиса, но мелиоративные исследования в этот период не только ни останавливались, но и расширялись.

Суть процессов эрозии заключается в отделении и переносе почвенных частиц под воздействием дождя и поверхностно стекающих вод. При взаимодействии дождя и почвы одним из самых нежелательных последствий процесса является разрушение последней, формирование стока и наносов и изменение ландшафта. Водная эрозия является главной причиной деградации почв и целых природных комплексов. Природные, хозяйственные и ландшафтные факторы считаются основными, влияющими на характер протекания эрозионных процессов. Одним из главных последствий эрозии является падение продуктивности подвергшихся ее воздействию земель. Уже на слабосмытых почвах по обобщенным данным А.Н. Костякова и М.Н. Заславского [3] урожайность сельскохозяйственных культур снижается на 10-30%, а на среднесмытых до 50%. Аналогичная информация приводится и в зарубежных источниках. Так, в США (штат Джорджия) [4] даже при благоприятных погодных условиях урожай кукурузы составил 33 ц/га на смытых почвах и 54,6 ц/га на не смытых. При обработке слабо - и средне эродированных площадей топлива расходуется в 1,5 раза больше, чем при обработке неэродированных [5]. Кроме этого необходимы повышенные до трех раз дозы удобрений.

Внедрение в практику сельскохозяйственного производства искусственного орошения вызвало, так называемую, ирригационную эрозию почв, которую можно рассматривать как разновидность водной или как ее дополнение, хотя в научных целях, абстрагируясь, можно рассматривать ее самостоятельно, что в основном и делается. Согласно нормативным документам [6], полив дождеванием следует применять:

- на незасоленных и промытых почвах со средней интенсивностью искусственного дождя не превышающей впитывающей способности почв в конце полива;
- при УГВ не менее 2,5 м; при поливных нормах не более 600 м<sup>3</sup>/га;
- при повторениях ветра со скоростью, превышающей допустимую для ДМ не более 20 процентов.

Первое из этих ограничений и наиболее строгое как раз и связано с ирригационной эрозией при дождевании, которая в первом приближении возникает вследствие подачи воды с интенсивностью, превышающей скорость впитывания воды в почву. Соблюдение равенства этих параметров является основным условием полива без образования поверхностного стока и смыва почвы. Интенсивность дождя равную скорости впитывания воды в почву называют допустимой. Инфильтрационная же способность почв изменяется от ее свойств, состояния поверхности, качественных и количественных характеристик дождя, времени полива. А.Н. Костяков допустимую интенсивность определял исходя из механического состава почвогрунтов: для тяжелых 0,1-0,2 мм/мин; средних 0,2-0,3 мм/мин; легких 0,3-0,8 мм/мин. Аналогично данные для стационарных систем и безуклонных участков приводятся и в более поздних публикациях. Согласно рекомендациям М.И. Багрова и И.Г. Кружилина [7], уже с учетом уклонов, на склонах с  $I = 0,01-0,12$  допустимая интенсивность для легких почв изменяется от 0,5 до 0,85 мм/мин; средних 0,4-0,2 мм/мин; тяжелых 0,2-0,1 мм/мин. Разумеется, все эти значения следует рассматривать как приближенные и нуждающиеся в корректировке в зависимости от конкретных условий. Ведь порог перехода от безэрозионного к эрозионно-опасному поливу, равно как и протекание эрозионных процессов определяются и размерами капель дождя, и его структурой, а так же влажностью и характером обработки почвы, видом и стадией развития растений и другими факторами.

Впитывание воды в почву процесс весьма сложный и изучение его имеет свою историю. Впервые А.Н. Костяков (1937 г.) подразделил его на две стадии: инфильтрацию и фильтрацию. Н.А. Качинский выделял 3 фазы: восприятие воды почвой, проведение воды из слоя в слой, фильтрацию через почву в грунт. Г.Н. Высоцкий предлагал два типа – инфлюкционный (затекание воды в почву по трещинам и землероидам) и инфильтрационный – движение воды по мелким порам и капиллярам. Сейчас это явление рассматривается как состоящее из процессов инфлюкции, инфильтрации и фильтрации.

При поливе дождеванием процесс перехода поливной воды в почвенную влагу может происходить в трех вариантах:

- безнапорное впитывание;
- безнапорное в комбинации с напорным (при наличии слоя воды);
- напорное впитывание.

Первый может реализоваться непосредственно в течение всего времени прохождения облака дождя или как первая фаза процесса впитывания. Характерная черта – отсутствие на поверхности почвы даже небольших лужиц. Второй – является переходным, а третий реализуется при существенном нарушении баланса между подаваемой и впитывающейся водой в сторону прихода.

В первой фазе впитывания, поскольку скорость водопоглощения уменьшается по времени по гиперболическому закону, она больше или, по крайней мере, равна интенсивности дождя. Протекает процесс до тех пор, пока на поверхности почвы не образуется пленка воды, а далее – лужицы в понижениях микрорельефа. Потом происходят перетекания поверхностных вод, смыкание луж и образование организованного поверхностного стока, что вызывает отрыв и перенос вместе с водой почвенных частиц.

Скорость, а вместе с тем и эрозионное воздействие таких перетеканий и потоков, определяются не только общими и локальными уклонами, но и микроперепадами на поверхности поля. Так приводятся данные [8], что, если на пути водного потока имеются микроперепады почвы высотой до 5 см, то локальные скорости возрастают до 1 м/с, а при 10 см уже до 1,5 м/с. При этом разрушаются даже наиболее плотные грунты. Причем, такой смыв может происходить и на задернованной почве между растениями.

В научной литературе имеется много информации по количественной оценке не только величины стока, но и выносе с полей почвенных частиц. Так, на орошаемых дождеванием полях Тувы [9,10] твердый сток на уклонах от 0,01-0,012 составлял 5-15 т/га, а на уклонах 0,02 от 16 до 23 т/га. А полив «Фрегатами» участка с овощами ( $I = 0,04$ ) уже на Украине [11] вызвал сток слоем 10,3-16,5 мм, а коэффициент стока составил 0,38-0,55. Отмечается увеличение средней интенсивности дождя по мере удаления от аппарата ДМ «Днепр» с 0,19 до 0,35 мм/мин, при этом оказывается, что мгновенная интенсивность в 16 раз больше средней. В результате в крупнокапельной зоне сток возникает уже при поливной норме 150-200 м<sup>3</sup>/га. На светло-каштановых почвах Волгоградской области при поливе «Фрегатом» сток за три полива составил 122-459 м<sup>3</sup>/га, а смыв почвы достигал 680 кг/га [12]. Причем указывается, что с увеличением инфильтрационной способности почв и уменьшением стока [13] увеличивается и прибыль за счёт повышения количества доступной для растений влаги.

При поливе многоопорными дождевальными машинами, особенно круговыми, эрозионные процессы могут инициироваться и наличием на поле колес, образованных колесами опорных тележек [14], причем потери орошаемой площади и урожая при их образовании могут достигать 6% [15]. Средняя глубина колеи при первом обороте «Фрегата» находится в пределах 14-15 см, ширина 35-40 см. На полях с уклонами в пониженных местах колеи углубля-

ются до 40-50 см [16]. Заболачивание колеи, как установлено [17], происходит благодаря попаданию в них стока, а не дождя.

В более широком смысле, чем описано выше, под эрозией в настоящее время понимается не только смыв почвы поверхностными потоками воды, но и разрушение почвенных агрегатов каплями дождя, что называют капельной эрозией. Она предшествует и способствует развитию основного эрозионного процесса. Так, при поливе ДМ «Фрегат» и «Волжанка» под воздействием капель разрушается структура и образуется почвенная корка толщиной 4-6 мм, снижающая водопроницаемость на 25%. Есть данные и о том, что образующиеся при дождевании мелкие почвенные частицы, закупоривают поры на глубину до 3 мм [18], причем, верхняя часть этого слоя толщиной 0,1 мм имеет особо плотное строение.

Следует иметь в виду, что жидкий сток, сформировавшийся в зоне дождевого облака, обладает повышенной эрозионной опасностью вследствие того, что падающие на воду капли дополнительно турбулезируют поток и усиливают его эрозионное воздействие.

Процесс каплеобразования при подаче оросительной воды с помощью дождевальных машин довольно глубоко был изучен А.И. Исаевым. В своей монографии [19] он дал глубокую теоретическую трактовку этого вопроса, что, однако, не делает излишним натурное определение параметров дождя, в частности, при испытаниях дождевальных машин. Размеры капель естественных и искусственных дождей колеблются в широких пределах: первых – от 0,1 до 7 мм, а вторых – от 0,4 до 4,0 мм. Ряд исследователей [20 - 22] отмечали отрицательное воздействие увеличения диаметра капель на верхний слой почвы, причем, до глубины 3-5 см, а сила воздействия капель диаметром 3-5 мм в 4-5 раз больше, чем капель диаметром 1 мм. Воздействие трехмиллиметровых капель не выдерживают, к примеру, листья люцерны.

Наличие поверхностных вод при дождевании чревато не только эрозионными процессами, происходит также – с одной стороны подъем УГВ, а с другой – неравномерное увлажнение активного слоя почвы. На каштановых средне- и легкосуглинистых почвах микропонижения – и повышения с перепадами 3-12 см вызвали колебания глубины увлажнения от 3 до 12 раз [23], а разница в запасах влаги при поливной норме 560 м<sup>3</sup>/га составила 300 м<sup>3</sup>/га. Даже, если поверхностный сток составляет всего 5-10%, то в микропонижениях скапливается его до 50% и происходит подпитка грунтовых вод. Причем, предупреждение инфильтрационного просачивания не означает полного предотвращения подъема УГВ, поскольку, есть мнение [24], что основная подпитка происходит во время инфлюкций. При орошении ДДА-100МА объемом грунтового питания достигает 15-170 мм/год, из которого 70-80% приходится на оросительную сеть, а при поливе «Фрегатом» источником подпитки является сток, собранный в микропонижениях. Общий объем стока достигал 30-40% поливной нормы.

Появление поверхностного стока и сопутствующего смыва уже давно поставил вопрос о допустимой его величине. При этом следует иметь в виду, что смыв рассматривается как эффект искусственного дождевания и естест-



венных осадков. Ибо, если полив без стока можно организовать, то параметрами природных осадков мы управлять не можем. В любом случае охрана почв означает предотвращение их прогрессирующего разрушения и обеспечение неограниченно длительного использования. По ориентировочным данным [25] в естественных условиях требуется около 300 лет для образования слоя почвы толщиной 25 мм. При обработках происходит усиленное её перемешивание, аэрация и увлажнение, благодаря чему сроки почвообразования сокращаются до 30 лет.

Естественно, что допустимые потери почвы должны зависеть и от типа и от мощности почв. В США потери от 0,4 до 1,8 т/га в год обычны, а в Африке на песчаных почвах принята величина 1,5 т/га, а на тяжелых – 1,8 т/га. В нашей стране первые рекомендации (1970 г.) предлагали для дерновоподзолистых почв 0,87 мм/год, черноземов 0,28 мм/год, каштановых почв 0,27 мм/год, что в пересчете составляет 10,9; 3,5 и 4,4 т/га в год. Несколько позднее были установлены и другие пределы: дерновоподзолы – 1 т/га; чернозёмы – 6 т/га; каштановые – 2 т/га.

Вышеприведенные цифры сейчас можно считать завышенными. Применительно к американским нормам ясно, что они намного превышают естественные процессы почвообразования, а в Англии (1980 г.) уже рекомендуют 0,2-2,0 т/га, в ФРГ 4,5-11,2 т/га. Всё же с учетом темпа почвообразования эрозия не должна превышать 120 кг/год. Принимая во внимание и антропогенные факторы, М.Н. Заславский предлагает при проектировании ограничиться величинами 0,2-0,5 т/га, меньшие значения для малоплодородных почв, большие для наиболее плодородных.

Эрозия существенно зависит от особенностей выращивания сельскохозяйственных культур. Например, с двух опытных совершенно одинаковых смежных участков, занятых кукурузой, потери почвы отличались более чем в 15 раз, потому что на одном из них применялась неправильная технология [26]. Разница в эрозии наиболее заметна на полях с пропашными, но существенной она может быть на пастбищах и других сельхозугодиях. Понятно, что сплошной растительный покров, например трава, защищает почвы, тогда как наличие междурядий обеспечивают меньшую защиту. Вместе с тем такая тенденция может оказаться противоположной под воздействием агротехники.

С целью наглядной демонстрации влияния обработки почвы на эрозионный смыв в США, в рамках программы «Виржинский лавр» в 1985-1987 гг. на 4-6 участках в июне-сентябре на фоне различных обработок с помощью специальной стационарной дождевальной установки в условиях практически адекватным реальным, моделировались эрозионные процессы со сбором жидкой и твердой фаз стока в присутствии окрестных фермеров [27]. Показы включали сравнение необработанных с обработанными деланками на кукурузе, сое, люцерне, пастбищах, в т.ч. на фоне полос с фильтрующей растительностью. Варианты с правильной обработкой в сравнении с общепринятыми имели уменьшение выноса твердого стока на 90-96%, питательных веществ на 51-70%, жидкого стока на 42-69%. Около 3000 фермеров были уча-

стниками демонстраций и наглядно представили себе важность мероприятий по предотвращению эрозии и уменьшению интенсивности деградации почв. Работы по программе получили широкий общественный резонанс.

Необходимо отметить, что ирригационная эрозия почв распространена повсеместно и во многих районах Африки, Азии, Северной и Южной Америки на каждый гектар новых орошаемых земель приходится гектар выбывших из оборота площадей. Известный американский специалист в области орошения М. Дженсен в книге по проектированию и эксплуатации фермерских орошаемых хозяйств [28] уделяет большое внимание вопросам сохранения плодородия почв разных районов США, а одной из основных дисциплин при подготовке фермеров является экологическое образование, в частности программа уменьшения эрозии сельскохозяйственных земель.

Таким образом, на основании проанализированных материалов, касающихся в основном качественных сторон эрозионных процессов, следует, что, по сути, система земледелия на эрозионно-опасных площадях должна быть, прежде всего, противоэрозионной, т.е. защита почв должна обеспечиваться всеми ее звеньями. Применительно к орошаемым площадям следует дополнительно выделять и чисто мелиоративные аспекты, касающиеся применения способов и технических средств полива.

Несомненно, что разработка и освоение противоэрозионных технологий эксплуатации орошаемых земель является одним из главных направлений рационального использования земли и воды и обеспечения охраны окружающей среды, поэтому одной из важнейших задач следует считать постоянный поиск мер и приемов, направленных на защиту почв от эрозии с наименьшими затратами материальных и трудовых ресурсов.

## **2. Мероприятия по борьбе с ирригационной эрозией почв при дождевании**

При разработке противоэрозионных мероприятий учитывают интенсивность стока и смыва почв, изменение продуктивности эродированных земель. Их цель – создать условия, препятствующие формированию стока на полях, а если этого нельзя сделать, то необходимо его перехватить на заранее подготовленных элементах, с тем, чтобы вынос почвы не превышал допустимых уровней. В настоящее время для описания процесса эрозии и обоснования тех или иных противоэрозионных мероприятий все шире используется математическое моделирование. Для этого применяются различные методы, наиболее интересные из которых представлены в нижеприведённой таблице. Сразу же необходимо отметить, что полностью теоретических моделей нет, все формулы имеют эмпирический или полуэмпирический характер и, следовательно, наиболее достоверны в рамках тех условий, где проводились исследования.

Анализ приведённых в таблице закономерностей помимо выявления формального плана достоинств и недостатков включал ещё и такой аспект, как целесообразность применения в тех или иных целях, принимая во внима-

ние личный опыт выполнения расчётов и приложения полученных результатов.

Таблица 1. – Зависимости для расчётов эрозионных процессов

Формулы и обозначения	Источ- ник	Характеристика	
		достоинства	недостатки
1	2	3	4
1. $W=E \cdot K \cdot L \cdot J \cdot C \cdot P$ , где W-потери почвы; Е-фактор, характеризующий эрозионный потенциал дождя; К-фактор, характеризующий стойкость почв; L и J – факторы уклонов; С – фактор, зависящий от с.-х. культуры и агро-техники; Р-фактор, зависящий от обработки почвы.	29 30	Возможность выявления эрозионной опасности, вызванной естественными осадками.	Чисто эмпирическая зависимость.
2. $m = k \cdot t^{1-\alpha}$ , где m-количество воды, впитавшееся за время t; k-средняя за первую минуту скорость безнапорного впитывания.	31	1. Традиционная форма представления. 2. Непосредственный выход на технологию полива.	1. Необходимость экспериментального определения k и $\alpha$ . 2.Отсутствие увязки с параметрами дождя.
3. $S=(\rho/\rho_1)^{B-1} \cdot e^{g(d/d_1)}$ , где S-энергетическая характеристика дождя; ρ и d –интенсивность и крупность капель дождя; $S_1=1$ мм/мин.; $d_1=1$ мм; В и g –параметры впитывания.	32	1. Присутствуют параметры, характеризующие свойства почвы. 2. Непосредственный выход на технологию полива.	Чисто эмпирическая зависимость.
4. $h=A/\rho^{0,27} \cdot d^{0,42}$ , где h-нормы полива до стока; А – показатель безнапорного впитывания.	33 34	Непосредственный выход на технологию полива.	1. Чисто эмпирическая зависимость 2. Узкий диапазон применения (для «Фрегата» и среднесуглинистых почв).

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
5. $N=0,0083 \cdot \rho \sum_1^n (n_i v_i)^2$ , где: N-удельная мощность дождя, Вт/м <sup>2</sup> ; n <sub>i</sub> -доля капель различного диаметра; v <sub>i</sub> -скорость падения кап-пель.	35	Теоретическое обоснование	Отсутствует увязка с технологией полива.
6. $m=\eta \ln(N-N_1)/(N_2-N_1)$ , где: m- допустимая по-ливная норма; $\eta$ -коэффициент; N <sub>1</sub> и N <sub>2</sub> – граничные зна-чения удельной мощно-сти дождя	62	1. Описание всех фаз эрози-онного процес-са при дожде-вании; 2. Непосредст-венный выход на технологию.	Необходимость оп-ределения N <sub>1</sub> и N <sub>2</sub> в каждом расчётном случае
7. $W=10S \cdot t \cdot (\rho-k)$ , где S и t – площадь под до-ждём и время дождева-ния; k- скорость впитывания; W-объём жидкого стока	37	Возможность определения твёрдого и жидкого стока, допустимых поливных норм.	1. Наличие громозд-ких расчётных зави-симостей. 2. Большое количест-во эмпирических констант.
8. $m=\eta \ln(k_0 t/\rho+1)$ , где k <sub>0</sub> -начальная скорость впитывания; t-минимальное время впитывания допустимой поливной нормы m.	38	Непосредст-венный выход на технологию полива.	1. Значительные тео-ретические упроще-ния при выводе фор-мулы. 2. Наличие экспери-ментально опреде-ляемых параметров.
9. $t=A/\rho^\alpha$ , где t-время до образования стока; A – коэффициент впи-тывания.	39	1. Традицион-ная форма представления. 2. Выход на технологию полива	Необходимость экс-периментального оп-ределения A.
10. $F=1,98 \rho \cdot V^2/d$ , где:F-сила удара капель на единицу площади, кН/м <sup>2</sup> с.	40	Учёт большин-ства влияющих на эрозию фак-торов.	1. Ошибки в форму-лах источника. 2. Необходимость проведения громозд-ких расчётов.



Продолжение таблицы 1

1	2	3	4
11. $C=6,6-0,223P+0,0748 \times P^2-0,287M+0,00366 M$ , где: P – слой дождя, мм; M – влагозапас активно- го слоя почвы, мм.	41	Простота опре- деления пара- метров.	Чисто эмпирическая зависимость

На основании анализа приведённой в таблице информации можно дать следующие рекомендации.

1. Первую зависимость целесообразно применять для выявления эрозионной опасности обширных агроландшафтов вследствие естественных осадков, в частности, и на начальных стадиях проектирования ООС.
2. Зависимость номер семь в её развитии весьма удобна для эрозионного районирования орошаемых территорий, причём с учётом способов и техники полива.
3. Для установления причин возникновения и развития эрозионных процессов на поливных землях можно пользоваться формулами 5 и 6. Особо в этом плане следует выделить зависимость 10, которая опять же в развитии, позволяет оценить как способствующие, так и противодействующие эрозии факторы, не располагая детальной информацией о водно-физических свойствах почв площадей, поскольку в первом приближении можно воспользоваться приведённой в источнике информацией.
4. Зависимости гиперболического вида удобны для получения кривых впитывания, подробно могут представить процесс образования стока, и целесообразны для дальнейших обобщений, поскольку наиболее адекватно отражают реальный физический процесс.
5. Связывающей параметры дождя и почвы является зависимость 3. Это является весьма удобным при разработке противоэрозионных технологий полива и детального районирования орошаемых массивов по технологическим факторам.

В конечном итоге, обобщая выше представленные материалы, можно констатировать, что универсального математического аппарата, удобного для применения во всех случаях нет, да и создания такого, видимо, нецелесообразно. В зависимости от характера проблем, особенно если решать задачи прикладного характера, располагая информацией о характеристиках дождевальных машин, свойствах почвы, рельефе и особенностях сельскохозяйственной деятельности на интересующих исследователя территориях, можно пользоваться разными методами, выбирая наиболее подходящий.

Смысл прикладных эрозиоведческих теорий не столько в точности, сколько в выходе на те или иные противоэрозионные мероприятия. Как уже упоминалось, первым приближением к безэрозионному поливу следует счи-

тять ограничение по допустимой интенсивности дождя, например, для тяжёлых почв она устанавливается от 0,025 мм/мин до 0,09 мм/мин [42]. Такие параметры, работающие в движении дождевальные машины, обеспечить не могут, поэтому появились понятия допустимых, досточковых, эрозионно-безопасных и т. п. поливных норм, что получило отражение в последнем издании справочника по орошению [43], хотя задолго до его выхода о них уже упоминалось в нормативной документации [44]. На таком научном фоне разрабатывались способы борьбы с эрозионной опасностью стока, образующегося на поверхности почвы вследствие выпадения естественного или искусственного дождя в количествах больше допустимых, путём специальных обработок почвы.

Почвозащитная обработка почвы может свести к минимуму плоскостной смыв почвы. Так в штате Айова (США) [45] при применении обычной агротехники: дискование + вспашка + боронование + два междурядных рыхления; сток в среднем за 13 лет наблюдений составил 113 мм, а при почвоохранной технологии: полосное рыхление с мульчированием растительными осадками – всего 28 мм. Максимальные сток и смыв в первом случае были 663 мм и 56 т/га, а во втором, соответственно, 76 мм и 9 т/га.

Интересный способ получил распространение на юго-востоке США [46], при котором верхний горизонт почвы рыхлится сплошную, а в подпахотном – через промежутки нарезаются щели шириной 4-5 мм и глубиной до 35-37 мм. Такие щели не разрушаются движителями сельхозтехники и функционируют в течение ряда лет. По сравнению с чизелеванием расход топлива при такой обработке сокращается на 12-43 %, а дополнительный доход составляет 50 дол/га. Конечно, при этом вмещающая ёмкость щелей снижается, что, однако, можно компенсировать более частым их устройством.

Хорошие отзывы имеет и такой противозэрозионный приём, как вертикальное мульчирование, что представляет собой щели, заполненные мульчей: соломой, стерней и т.п. По исследованиям станции защиты почв от эрозии в Палоузе (штат Виржиния, США) [47] щелевание с мульчированием по сравнению с обычной технологией уменьшает жидкий сток со 115 мм до 11 мм, а твёрдый – с 1,1 т/га до 0,04 т/га. Известна и технология Ставропольского НИИСХ с заполнением щелей прессованной соломой, что повышает инфильтрацию влаги до 40-45 мм/ч против 10 мм/ч при обычном щелевании.

В Белоруссии для задержания на склонах осадков при междурядных обработках картофеля к культиватору КРН-4,2Г навешивался бороздопрерыватель ППБ-0,6А для устройства лунок. При такой обработке смыв почвы снизился в 30 раз и не превышал 0,3 т/га [48]. Этот же приём в Московской области обеспечил эффект в 13 руб/га [49].

Большой объём исследований по влиянию щелевания на процесс формирования стока проведен в Поволжье. Так, в Волгоградской области [50] на его фоне отмечено значительное снижение стока при поливе ДДА-100 МА и полное его прекращение при орошении ДМ «Фрегат». В Саратовской области в таких же условиях норма бесстокового полива увеличилась до 700-750 м<sup>3</sup>/га с повышением урожайности люцерны на 33-35 ц/га [7]. Подчеркивает-

ся, что серийный щелерез ЩН-2-140 образует прищелевые валики высотой 0,15-0,17 м, создавая тем самым водоудерживающий микрорельеф. Однако если щелевание выполняют ножами от болотных плугов, укрепленных на раме глубокорыхлителя КПП-250, то качество выполнения операции выше, чем при нарезке орудием ЩП-2-4. В Заволжье особенности бесстокового полива изучали применительно к ДМ «Фрегат». Рекомендовано один раз в год на слабоводопроницаемых почвах проводить щелевание многолетних трав и озимых культур на глубину 0,40-0,45 м.

Известен и комбинированный способ противозэрозионной обработки [52], включающий бороздование, культивацию и нарезку щелей поперёк склона, отличающийся тем, что стенки щелей уплотняют, а сами щели в верхней части расширяют. Предлагаются и щели с рифлёными стенками [53] и совмещение щелей с лунками между щелями. Помимо этого устраивают и широкие щели с засыпкой рыхлой почвой [54]. Для увеличения сроков службы щелевых элементов над щелью создают перекрытие из обрабатываемой почвы с образованием в ней углублений, в которые вводят оструктурирующий состав. На зиму щели можно закрывать плёнкой и устраивать их в комбинации с кротовинами, причём, последние нарезают выше дна щели на 6-10 см. Предложена и комбинация щели с валиком и заполнением её полости наполнителем.

Комплексные исследования противозэрозионных приёмов были проведены в Средней Азии [55], в т. ч. на посевах пропашных культур проводилось глубокое рыхление (на 25-28 см), кротование и щелевание через 90 и 180 см. Отмечается, что наилучшие результаты, полученные при обработках через 90 см как на кротовании, так и щелевании. Здесь необходимо отметить, что идентичность этих двух вариантов вполне понятна, ибо кротовина это та же щель со свободной полостью в нижней части, трудно объяснить низкую эффективность глубокого рыхления, которые имеют, как правило, хорошие отзывы, причём в разных регионах. Видимо принятая в исследованиях глубина рыхления (на уровне глубокой вспашки) не позволяет в условиях орошения реализоваться всем преимуществам этого способа.

Известно, что наиболее благоприятные условия для развития растений создаются при объёмной массе  $1,0-1,3 \text{ г/см}^3$  на средних и тяжёлых суглинках и до  $1,4 \text{ г/см}^3$  на супесях. При многократных обработках в почве часто образуется уплотнённый слой – до  $1,63 \text{ г/см}^3$  и более, затрудняющий или делающий практически невозможным проникновение через него корней. В Северной Каролине [56] установлена величина дополнительных затрат на почвенное рыхление в размере 15 дол/га и рекомендуется выполнить его, если для фермера это не связано с покупкой более мощного трактора. Различают два вида уплотнений [57]: сплошные уплотнения, возникающие в результате воздействия плугом или колесом трактора, и уплотнения, вследствие процессов, происходящих в более глубоких слоях почвы. На богарных пахотных землях присутствуют оба вида, а применительно к орошаемым площадям, конечно же, следует дополнить их и уплотнением, вызванным воздействием искусственного дождя.

Об образовании на полях уплотнений подпахотной подошвы – своеобразного водонепроницаемого барьера, препятствующего вертикальной фильтрации влаги, свидетельствуют также другие литературные источники [58] и рекомендуют в этом случае чизельную обработку, которая разуплотняет подошву, способствует лучшему накоплению и сохранению влаги. Смыв почвы при этом оказывается в 4,5 раза меньше, чем при отвальной вспашке и в 3 раза меньше, чем при плоскорезной обработке.

Выше уже упоминались мероприятия, позволяющие собирать поливную воду на поверхности, тем самым, предотвращая развитие эрозионных процессов. Это, прежде всего, прерывистое бороздование и лункование [73], причём указывается, что лунки задерживают до 340 м<sup>3</sup>/га, а делать их целесообразно одновременно со вспашкой приспособлением к плугу УПЛ-1-140, а перемычки в бороздах устраивать одновременно с их нарезкой. Известны также линзообразные углубления комбинация ложбин с валиками и каналами, заполненными органическими наполнителями, бороздование поперёк склонов, при этом в борозды тоже вносится наполнитель, а поверхностный слой срезания вместе со стерней, формируется в ленту и укладывается в борозду с возвышением над поверхностью почвы.

Работы, проведённые ВНИИГиМ и другими институтами с рыхлителями серии РГ (из последних моделей заслуживает внимания своей универсальностью агрегат ЦРК-0,6)), выявили эффективность, причём, в ряде случаев очень высокую, глубокого рыхления (на 60 и более сантиметров) каштановых, чернозёмных и серозёмных почв. При этом обеспечивается увеличение фильтрации в 7-10 раз. Его рекомендуется применять при плотности в слое 0-60 см более 1,45 г/см<sup>3</sup> для малогумусных и 1,3 г/см<sup>3</sup> для высокогумусных почв с коэффициентом фильтрации 0,1 м/сут и менее. Отмечается [167, 104, 184], что почвоуглубление до 38-40 см и глубокое рыхление до 55-60 см обеспечивают помимо противоэрозионного эффекта получение дополнительной продукции в объёмах 1,4-5,2 центнеров кормовых единиц с гектара на фоне улучшения структуры и нормализации воздушного и водного режимов почвы.

В научной литературе описан и ещё один агроприём [59] – полосовое глубокое рыхление. Суть способа, как противоэрозионного мероприятия, в сборе стока с небольших водосборов и его аккумуляции, но не лунками, ложбинами или бороздами, а взрыхленными полосами почвогрунта. Эту технологию можно рассматривать как самостоятельный вид обработки или в качестве частного случая технологического процесса глубокого рыхления. Опыты показали, что урожайность озимой пшеницы на фоне полосового рыхления повышается в сравнении с обычной вспашкой на 13 %, а кукурузы (з.м.) на 13-15 %. Причём, полосы шириной 2,8 м через 10-15 м, нарезанные весной на склонах 8-12°, снизили смыв почвы с 103,5-142,5 т/га до 23,2-42,7 т/га.

Полосовое рыхление изучалось и в Молдавии [60], где склоны 6-8° обрабатывались орудиями ВУМ-60 и ПУН-1,7. Ширина полос составляла 1,4-3,5 м, расстояние между ними 10 м. После выпадения естественных осадков в



количестве 46 мм на контроле содержание влаги в слое 0-100 см увеличилось на 21 мм, т.е. половину выпавшей влаги составил сток, а на полосах на 44 мм, а стоковые явления отсутствовали. Учёт урожая на протяжении десятка лет показал стабильные прибавки на 4-16 %.

Существуют и другие противоэрозионные приёмы обработки почвы, одни из них общеизвестны, например, специальные виды вспашки или мульчирование, другие – ложбины, гребни и т.п. на мелиорированных полях неприменимы, так как затрудняют водораспределение и перемещение дождевальных машин. Задержать внимание следует на эксплуатационной планировке, которая обычно способ борьбы с эрозией не рассматривает. Хотя давно известно, что поля, поливаемые дождеванием, имеют выраженный микро-рельеф, вследствие чего наблюдается существенная до 50-150% пестрота урожайности и нуждаются в эксплуатационной планировке не менее чем площади поверхностного орошения. А с другой стороны, несомненно, что наличие хаотично расположенных неровностей способствует не столько задержанию стока, сколько его трансформации в локальные почворазмывающие течения.

Наиболее широко и детально процессы ирригационной эрозии и способы борьбы с ней были изучены Ю.П. Поляковым вначале в ЮжНИИГиМе, а затем в НИМИ (НГМА). В соответствии с его рекомендациями (МиВХ, 1977, № 1) противоэрозионная система мероприятий должна строиться с учетом конкретного способа орошения и быть комплексной прежде всего в том, что они должны быть спланированы для различных стадий состояния объекта: проектирование, эксплуатация, реконструкция и отличаться многообразием.

Обобщая материалы данного раздела можно дать классификацию противоэрозионных мероприятий в следующей форме (см. табл.2).

Таблица 2 – Основная классификация противоэрозионных мероприятий

Принцип действия	Вид обработки
1. Ликвидация перетеканий по элементам микрорельефа	1. Эксплуатационная планировка 2. Выравнивание
2. Повышение впитывающей способности почвогрунтов	1. Чизелевание 2. Глубокое рыхление
3. Перехват и аккумуляирование стока с небольших водосборов поверхностными элементами	1. Лункование 2. Прерывистое бороздование и другие
4. То же, но почвоуглублёнными элементами	1. Щелевание 2. Кротование 3. Полосовое глубокое рыхление
5. Повышение эрозионной стойкости почв	1. Мульчирование 2. Закрепление полимерами и др.

Все вышеприведённые агроприёмы имеют свои положительные стороны и недостатки и, конечно же, не могут использоваться механически или исходя из тех или иных субъективных факторов. Их применению должен предшествовать тщательный выбор, с тем, чтобы избежать бесполезных дополнительных затрат на обработку почвы и получить желаемый эффект при минимальных издержках.

### **3. Особенности полива дождеванием**

Водные оросительные мелиорации применяют для обеспечения растений доступной им влагой, для чего воду необходимо перевести в состояние почвенной влаги, т.е. распределить тем или иным способом по площади и глубине. Решая эту задачу способом дождевания, ее нужно определенным образом к объекту подвести и раздробить на отдельные капли в определенном количестве. Это обеспечивается такими параметрами дождевальной техники как напор и расход, причем, последний вкупе со скоростью перемещения машины или временем дождевания дает возможность реализации различных поливных норм. Уже к концу восьмидесятых годов сложилось положение (и законсервировалось!) когда оптимальные поливные режимы разрабатывались и рекомендовались к применению без учета технологических возможностей дождевальных машин, а последние, в свою очередь, создавались без учета обеспечения качественного полива. Необходимость определяющей в отношении характеристик ДМ роли режимов орошения дождеванием становится очевидной, хотя они сейчас представляют собой не более чем трансформированные режимы орошения поверхностным способом.

Согласно существующей практике для разработки и районирования противоэрозионных мероприятий проводится картографирование орошаемых земель по возможности появления эрозионных процессов. По разным признакам, в частности, и по величине возможного смыва выделяются категории площадей с разной эрозионной опасностью. Однако применительно к дождеванию часто не учитывается такой важный фактор, как технология полива, без учета которой проектирование способов борьбы с эрозией может стать и бессмысленным. Под технологией полива понимают, в общем-то, разные вещи: одними – поливной режим; другими – способы его реализации, третьими – одно и другое вместе, включая технические средства, агротехнические мероприятия и т.п. Целесообразно, на наш взгляд, под технологией полива понимать способ выдачи тех или иных входящих в режим норм, что окажется полезным при разработке новых технологий дождевания.

В последнее время в связи с ужесточением требований к охране окружающей природной среды появился термин – экологизация мелиоративных систем [61], под которой понимается создание и поддержание необходимых природно-мелиоративных процессов на объекте, обеспечивающих биологический круговорот воды и минеральных веществ с целью увеличения продуктивности мелиорированных земель при обеспечении устойчивости агроландшафтов. Применительно к предмету исследований экологизация распро-

страняется и на технику и технологию полива, включая водооборот и качество воды, соответствие интенсивности водоподачи водопотреблению, подачу воды в биологически важные фазы развития растений, равномерное ее распределение по глубине корнеобитаемого слоя, исключение эрозии, вторичного засоления и снижение плодородия почв.

Распределение искусственного дождя по площади проекции облака на поверхность поля имеет весьма сложный характер. Сказываются и неравномерность содержания жидкой фазы в разных частях облака в пределах захвата машины и по длине струй дождевальных аппаратов, их вращение и перекрытие, колебания расхода и напора и их изменение по длине водопроводящего пояса, влияние метеофакторов, принцип перемещения ДМ и т.п. Предлагается [62] для установления нормы полива учитывать динамическое воздействие капель дождя на почву, фактическую интенсивность дождя в любом месте орошаемой площади, технологические особенности работы машин. Такой подход позволяет выявить наиболее опасные в отношении эрозии участки. Например, для ДМ «Кубань-ЛК» интенсивность дождя в начале трубопровода составляет 0,4 мм/мин, а ближе к концу – 1,25 мм/мин, где и будут самые низкие достокровые поливные нормы.

Существующие конструкции дождевальных машин не позволяют изменять характеристики дождя в зависимости от впитывающей способности почвогрунтов без изменения конструкции дождевого пояса. В процессе работы регулировать можно только величину поливных норм. С тем, чтобы уйти от слишком малых поливных норм на проход или оборот, по аналогии с допустимым смывом почвы допускается и некоторая величина стока в объемах от 10 до 25% от объема подаваемой воды или до 25% от достокровой нормы. Такие подходы, несмотря на теоретическую их привлекательность, на практическую деятельность оказывают незначительное влияние, внося лишь путаницу в терминологию и, вызывая дискуссии о величине допуска, ибо если достокровые нормы малы, то 10-20 процентов их увеличения никак на технологию полива в положительную сторону не отразятся, а если средние или высокие, то можно обойтись и без добавок.

Наиболее распространенным техническим средством, поливающим способом дождевания сейчас являются круговые дождевальные машины, так в США они поливают около половины орошаемых площадей, примерно в 4,5 раза больше чем фронтальные. У нас они представлены двумя типами – «Фрегаты», поставки которых начались в 1971 году и за двадцать лет их выпущено более 35 тыс. штук, и «Кубани ЛК». На базовой модификации дождевальной машины «Фрегат» получена средняя интенсивность дождя 0,23-0,47 мм/мин при колебаниях на отдельных участках от 0,18 мм/мин до 0,60 мм/мин. Средние диаметры капель концевых участков струй 8-16 тележек находились в пределах 1,5-5,1 мм. По данным испытаний Южно-Украинской МИС К<sub>эф</sub> установлен в пределах 0,74-0,85. По данным ВолжНИИГиМ с удалением от центра круга с пятой до двенадцатой тележки интенсивность изменяется от 0,29 до 0,72 мм/мин, а по оси дождевального аппарата увеличивается до 1,7 мм/мин. У «Кубани-ЛК» эффективность полива несколько вы-

ше 0,802-0,805, выше и интенсивность дождя – 0,98 мм/ми, зато меньше диаметр капель – 1-1,2 мм (при оснащении короткоструйными дождевальными насадками).

Сельскохозяйственные растения страдают и от недостаточного количества выпадающих осадков, и от того, что значительная их часть тратится на непроизводительное испарение, поэтому, обеспечивая бесстоковый полив, можно считать, что тем самым более эффективно используются водные ресурсы. Требуемая поливная норма может быть выдана за несколько проходов (оборотов) машины. Это позволяет экономить оросительную воду, делает орошение экологически безопасным и поддерживает оптимальную влажность почвы.

При поливе почв, имеющих низкий коэффициент фильтрации, с использованием дождевальных машин кругового действия возникают проблемы, анализ которых был проведен в университете штата Оклахома [63]. При медленном поглощении воды почвой на поверхности образуется слой очень влажного грунта, что может привести к буксованию колес машины. Чтобы избежать этого, необходимо увеличить скорость движения, используя специально подготовленные колеи. Однако считают, при этом уменьшается количество накопленной в почве воды и одновременно увеличивается испарение.

Здесь же в рекомендациях по поливу слабоводопроницаемых почв круговыми ДМ утверждается, что заболачивание колей происходит не за счет попадания в них дождевой или технологической воды, а в результате наличия поверхностного стока. В связи с этим предлагается устройство засеваемых грядок, идущих параллельно колеем, либо устройство в колеех перемычек. Очень полезным считается применение влагозарядковых поливов, позволяющих накопить влагу заранее и снизить потребное количество воды, поступающей в почву при одном обороте дождевальной машины в вегетационный период или, другими словами, увеличить скорость её движения. Для повышения скорости впитывания на глинистых почвах рекомендуется доводить поверхностный слой до состояния растрескивания, чем предполагается повысить скорость впитывания. И следом указывается – если при поливе пошел дождь, то не следует спешить с отключением дождевальной машины. Это следует лишь в том случае, если измерения покажут, что осадки по своей величине относятся к эффективным.

Согласно существующим воззрениям применительно к режимам орошения расход дождевальной машины зависит от обслуживаемой площади и в среднем на 1 га необходимо подавать 1 л/с [64]. А для расчета расхода каждого дождевального аппарата предлагаются специальные зависимости [65], составленные с учетом требований к экологической безопасности полива. Отмечается, что такая расстановка и регулировка аппаратов привела на ДМ «Фрегат» с расходом 20 л/с к уменьшению среднекубического диаметра капель с 3,8 мм до 1,5-2,0 мм, а достокровые поливные нормы увеличила на 200 м<sup>3</sup>/га.

Существуют и так называемые методы автокорректировки, с помощью которых для фронтальных ДМ можно подобрать насадки и арматуру (от-



крылки, штанги и т.п.) для обеспечения равномерного по длине водопроводящего трубопровода распределения воды, а также получения удовлетворяющего агротехническим требованиям слоя осадков и интенсивности дождя, соответствующей впитывающей способности почвы, и подбора в рамках возможного желаемой его структуры.

Большое влияние на качество дождя оказывают уклоны орошаемого участка. До недавнего времени возможность работы на больших уклонах считалась одним из достоинств машины (у «Фрегата» – до 0,05). Такое мнение не всегда оправдано. Например, в США по информации конца семидесятых годов [66], наиболее распространенными были круговые ДМ длиной 400 м, которые могли работать при наличии гибких вставок и на больших уклонах, но не устанавливались там по соображениям эрозии. Сложный рельеф искажает гидравлические характеристики машин и в этих случаях необходимы регуляторы, в частности, мембранного типа. Впрочем, для фронтальных ДМ на уклонах 0,005-0,007 отклонения расходов крыльев не превышают 10 процентов. Возникают проблемы и при поливе просадочных площадей, вследствие возникновения суффизонных блюдечек, трещин и уступов даже на исходно ровной поверхности. Такие искажения рельефа влияют с одной стороны на параметры машин, а с другой – на развитие эрозионных процессов.

Как уже отмечалось, расход и напор ДМ в итоге трансформируются в дождь определённой интенсивности и структуры, который комплексно можно характеризовать энергетической характеристикой дождя – ЭХД [67]. Для приблизительной ориентировки предлагаются в гумидной зоне минимально допустимые поливные нормы 150-300 м<sup>3</sup>/га, а максимальная ЭХД 0,7-1,27; в субаридной зоне, соответственно, 300-400 м<sup>3</sup>/га и 0,8-1,5; аридной – 400-600 м<sup>3</sup>/га и 0,8-1,5. Рассматривая такую ранжировку, думается, с учетом уже изложенного ясно – определяющим в этих случаях должны быть все же свойства почв, а не зональные особенности, причем, в таком большом масштабе.

Структура и интенсивность дождя являются наиболее сложными параметрами при конструировании ДМ, как в отношении выбора, так и реализации. Если говорить о ДМ «Кубань» и «Фрегат», то уменьшение интенсивности в сравнении со штатными значениями возможно в первом случае применением дефлекторных насадок на открылках, обеспечивающих рассредоточение дождя, а во втором – оснащением ДМ комбинацией среднеструйных аппаратов и секторных насадок, которые могут включаться порознь. В обоих вариантах следствием, помимо положительных сторон, является усложнение конструкции и эксплуатации машин.

Выше уже говорилось о том, что поскольку возможности управления основными параметрами искусственного дождя весьма ограничены, применяется такой технологический прием, как дробное внесение больших поливных норм, к положительным сторонам которого можно помимо противоэрозионной эффективности отнести и повышение равномерности увлажнения. Для фронтальных ДМ «Кубань» рекомендуется схема, в соответствии с которой первый проход делается увеличивающейся от начала к концу нормой для создания буферного запаса влаги. При отработке трех схем полива [68]: вы-

дача нормы  $500 \text{ м}^3/\text{га}$  за 1 проход; за 2 прохода, причем, в первом «ступенькой» по 300 и  $200 \text{ м}^3/\text{га}$ , а во втором наоборот; за 2 прохода «ступенькой» – в первом 350, 250 и  $150 \text{ м}^3/\text{га}$  – при использовании первой схемы отдельные участки поля пересыхают до НВ 42-45%, а при второй и третьей не более чем до 65-75% НВ. При ступенчатом поливе прибавки урожая зеленой массы кукурузы составили 4,3-4,5 т/га. Аналогичная информация приводится и в другом источнике [69], где отмечен прирост урожайности зелёной массы люцерны с 37,5 до 44,5 т/га. Интересно, что при дробном поливе повышается и производительность дождевальной машины.

Хорошо соотносятся с противоэрозионными подходами и существующие воззрения относительно рационализации поливных режимов и сокращения величины оросительных норм [70]. Предлагается, в частности, верхние пределы влагозапасов установить равными 0,8 НВ в степной зоне с чернозёмами; 0,85 НВ для сухостепной зоны с каштановыми почвами; 0,9-0,95 НВ в пустынной зоне с чернозёмами; 1,0 НВ – только для гумидных зон. Соответственно, проектные поливные нормы уменьшаются до  $150\text{-}400 \text{ м}^3/\text{га}$ .

При поливе со стоком, когда энергетические характеристики дождя или технология полива не соответствуют впитывающей способности почв бесполезно добиваться высоких значений параметров, характеризующих равномерность распределения дождя, так как произвольные поверхностные перетекания обеспечат непрограммируемое увлажнение почвы независимо от значений коэффициента эффективного полива. Однако, если бесстоковый полив обеспечен, то  $K_{\text{эф}}$  весьма существенно влияет на эффективность дождевания. Так ещё старый ОСТ 702.19-73 на испытания дождевальных машин устанавливал прирост урожайности в зависимости от  $K_{\text{эф}}$ , причём она ощутимо снижается при  $K_{\text{эф}} < 0,7$ .

По данным Приволжской и Южно-Украинской МИС стоимость прибавки урожая при использовании ДМ «Кубань», которая отличается высокими значениями  $K_{\text{эф}}$ , установленная на основе нормативов определения влияния равномерности распределения дождя на урожай, оценена в 28-41 руб/га [71], или в 3-5% [95]. Тем не менее, есть мнение [72], что если принять за 100% урожай при  $K_{\text{эф}} = 0,7$ , то повышение его на 0,1 даст 1,5% увеличения урожая, т.е. при  $K_{\text{эф}} = 1,0$  урожайность увеличится всего на 4,5%, что, как считают авторы, не оправдывает технологическое усложнение конструкции дождевальной машины.

Помимо поперечной (к направлению перемещения) равномерности распределения дождя существует еще и продольная равномерность выпадения влаги. Обе вместе характеризуют равномерность увлажнения поля. Разумеется, продольная равномерность зависит от конструкции и технологических параметров машин, свойств почвы, рельефа, поливного режима и технологии полива, организации эксплуатации и т.п. Предпринимались попытки теоретического определения производительности ДМ при условии максимально большой площади, поливаемой эффективно [73], однако результаты приведены только для стационарной установки УДС-25. Для машин фронтального и кругового действия информации подобного рода не обнаружено.

Таким образом, обобщая вышеприведенные материалы, можно отметить хорошо просматриваемую взаимосвязь конструктивных особенностей и параметров дождевальных машин, стремление к повышению качества дождя, в частности и к уменьшению его эрозионного воздействия на почву. Известна и технология дробного внесения поливных норм, причем, применительно к фронтальным ДМ по сложным схемам. Однако имеется определенное отставание технологической части от технической и нет явной взаимосвязи одного и другого, хотя по отдельности объёмы исследований и в области процесса дождевания и в области дождевальной техники весьма обширны.

#### **4. Снижение энергоёмкости полива дождеванием**

Многоопорные дождевальные машины запатентованы в США в 1952 году. Наиболее часто используются круговые данные длиной 400 м на площади 83 га или даже 700 га. К недостаткам таких машин относятся сравнительно большие потери давления в них и большая интенсивность под последними пролетами, что может вызывать лужеобразование и сток. В настоящее время в России наиболее распространённой из многоопорных дождевальных машин оказалась ДМ «Фрегат», которая показала исключительную долговечность, но, тем не менее, по своим характеристикам уже не вписывается в современную экономику, поскольку требует для работы давления на входе 0,6-0,7 МПа, а соответственно, на насосной станции 0,10-0,12 МПа. Столь высокий уровень уже более десятилетия инициирует работы по снижению потребных напоров по вполне понятным соображениям, так как выгоды очевидны, ибо снижение давления с 0,7 МПа до 0,45 МПа на 16% уменьшает напор на станции и на 13% годовой расход электроэнергии. Хотя и отмечается [74], что переход на низкие напоры и ухудшает распределение воды, тем не менее, с его снижением на 0,15 МПа и норме 900 м<sup>3</sup>/га средняя стоимость электроэнергии на полив одного гектара снижается с 39 долл. до 32,8 долл.

Исследованиями ВолжНИИГиМ установлено, что для условий Заволжья наиболее применимы ДМ типа «Фрегат» и «Волжанка». В институте разработано несколько направлений снижения рабочего напора в сети на 25-30 %. Перевод высоконапорных ДМ «Фрегат» на работу при пониженных давлениях позволяет экономить до 20-30% электроэнергии и даёт экономический эффект до 12-14 тыс. руб. на одну машину. Число одновременно работающих машин можно увеличить в 1,5-2,0 раза. Указывается [75], что энергоёмкость полива у низконапорной модификации дождевальной машины «Фрегат» снижается до 1098 квт.ч/га. Установлено также – помимо снижения энергозатрат у низконапорных ДМ уменьшаются потери воды [76], однако ухудшаются эксплуатационные характеристики и показатели, характеризующие качество полива, такие как его интенсивность и равномерность промачивания почв.

Для современных дождевальных машин характерна большая пестрота энергетических показателей. Например, «Кубань-Л» с захватом 800 м имеет

рабочий напор 0,31 МПа, а небольшие «Фермер Кубань-ЛК1» и подобные ДМ – 0,2 МПа, что согласуется с требованиями энергосбережения, зато для «Мини Кубань-ФШ» нужно уже 0,35 МПа при захвате 184 м. Такова цена шланга. Модификации же «Фрегата» даже при небольших расходах 5,5-7,5 л/с требуют давления 0,4 МПа, тогда как на таких напорах могут работать и полноразмерные машины после соответствующего переоборудования.

Многоопорные дождевальные машины представляют собой самоходные технические средства, включающие в себя трубопровод и опорно-ходовые тележки, с помощью которых они и перемещаются в пределах орошаемого участка по кругу или фронтально, распределяя дождь по обслуживаемой площади. Перемещение происходит с малыми скоростями качения движителей (у широко применяемых отечественных ДМ в качестве последних известны только колеса). Кроме этого, в отличие от другой сельскохозяйственной техники, дождевальные машины находятся в более сложных условиях эксплуатации, так как передвигаются по увлажненной почве, многократно по одному и тому же следу на фоне разнообразной экспозиции и величины уклонов. В силу этого задачи совершенствования средств передвижения ДМ имеют повышенную сложность.

«Фрегаты» оснащены гидроприводом опорных тележек и в штатном варианте, у базовой модификации ведущей является последняя – 16 тележка, а давление в конце трубопровода, откуда и запитывается последний гидроцилиндр, согласно ТУ должно быть не менее 0,45 МПа, чем обеспечивается необходимая мощность привода и крутящий момент на колесе. Ясно, что снижение напора на входе не в благоприятную сторону скажется на ходовых качествах машины, поэтому к решению проблемы обеспечения надежного движения ДМ подходили с разных сторон.

Для уменьшения сопротивления качению самоходные тележки «Фрегат» оборудовались новыми колесами с пневматическими шинами низкого давления, а для того, чтобы сохранить усилие на толкателях колес, укорачивалось плечо силового рычага с 290 см до 220 см. По результатам госиспытаний (1980, 1987гг) пневмошины были рекомендованы для применения в производстве. На пневмоход были поставлены и ДМ «Кубань», «Бригантина» и др. Однако в связи с высокой стоимостью для модернизации действующих «Фрегат» такой подход в нынешних условиях больших перспектив не имеет.

Рассматривая вариант изменения конструкции привода, связанный с уменьшением плеча рычага, следует принимать во внимание, что при этом уменьшается ход толкателя, а это требует увеличения количества почвозацепов с 21 до 28 шт, а угол поворота колеса за один цикл работы привода уменьшается с  $17,14^\circ$  до  $12,85^\circ$  или на  $4,29^\circ$ , т.е. на 25%. Сообразно с этим снизится скорость движения машины, увеличится минимальная поливная норма и в целом изменятся все технологические характеристики ДМ. Следует отметить, что по версии ВолжНИИГиМ [154, 143] количество почвозацепов увеличивается до 32 шт., а угол поворота уменьшается до  $11,25^\circ$ , т.е. ещё больше.

Существует и еще один вариант совершенствования гидропривода. Первоначально он появился в УкрНИИГиМ, а впоследствии конструкторская документация на него была разработана СКБ «Дождь». Сохранение усилия на штоке гидроцилиндра при снижении давления достигнуто путём увеличения диаметра цилиндра с 122,8 мм до 154 мм. При этом уменьшается цикличность работы цилиндра и, как следствие, скорость вращения. При полностью открытым кране-задатчике время оборота возрастает до 96 часов и на 25% сбросы в зону следов колёс.

Для увеличения скорости движения низконапорной ДМ и уменьшения реализуемых поливных норм была предложена конструкция опорной тележки с увеличенным диаметром колес. При этом количество зацепов и центральная часть колеса не меняются, а концентрично приваривается дополнительный обод диаметром 1450 мм, который компенсирует увеличение времени заполнения уширенного цилиндра, вследствие чего скорость повышается в 1,32 раза, а минимальная поливная норма для ДМ с расходом 72 л/с составила 220 м<sup>3</sup>/га [77].

Предпринимались попытки отделения гидропривода самоходных опорных тележек от водопроводящего трубопровода. Для этого вдоль него протягивался дополнительный полиэтиленовый диаметром 63 мм. Он связывался с основным в начале и конце машины. Гидроцилиндры отсоединялись от основного трубопровода и подключались к дополнительному. Этим предполагалось улучшить энергоснабжение последних наиболее нагруженных тележек и повысить проходимость машины.

Как развитие этой идеи СтавНИИГиМ был предложен дополнительный закольцованный трубопровод, состоящий из двух ветвей – транспортирующей и питающей. Соединительная арматура в начале машины связывала одну и другую через фильтры с основным трубопроводом, а в конце между собой. При этом вторая ветвь запитывалась в районе первой тележки, а первая – второй. Для удаления воздуха и слива воды из дополнительного трубопровода он оснащался штатными сливными клапанами в каждом пролете.

Такая конструкция, по мнению разработчиков, позволяет передать гидроприводу каждой тележки давление близкое к давлению в начале «Фрегата» и без замены гидроцилиндров обеспечить надежное движение машины при пониженных рабочих напорах. Максимальная скорость движения последней тележки при этом варианте модернизации составила 0,73 м/мин, что в 1,4 раза больше, чем у «Фрегата» с уширенными гидроцилиндрами, а минимальная поливная норма составила 220 м<sup>3</sup>/га и время полного оборота 60 часов [191], причем, если увеличить диаметр дополнительного трубопровода с 40 мм до 52 мм, то время оборота уменьшится еще на 8 часов и скоростная характеристика модернизированной машины вплотную приблизится к характеристике штатной.

Таким образом, резюмируя вышеизложенное, можно сделать заключение, что к настоящему времени известно несколько вариантов модернизации ходовой части машины «Фрегат», из которых, учитывая экономическую ситуацию и степень отработанности, внимания заслуживают следующие.

1. Изменение параметров кинематической схемы привода и уменьшение плеча силового рычага.

2. Отделение питания гидроцилиндров от основного трубопровода и закольцовка дополнительной трубой.

3. Применение уширенных гидроцилиндров.

Первый вариант представляется наиболее простым и дешевым, однако применялся он пока ограниченно, в основном самими разработчиками, показал себя недостаточно работоспособным и требует дополнительной отработки. При втором не столько увеличивается «мокрый» вес машины (около 2 т), как усложняется ее переоборудование, техническое обслуживание и эксплуатация; необходима организация производства полимерных изделий, хотя преимущества здесь налицо, включая после некоторых изменений конструкции водоподводящего узла и возможность перемещения ДМ без полива.

В практике наибольшее распространение получил третий вариант, думается, благодаря двум факторам: простоте переоборудования машин и налаженному производству уширенных гидроцилиндров. Они выпускаются на Украине несколькими предприятиями, а в России Казанской фирмой «Фрегат». Стоимость модернизации ходовой части базовой ДМ составляет сейчас примерно 10 процентов стоимости нового «Фрегата», причем, можно заменять не все гидроцилиндры, а лишь половину, начиная с периферии, разумеется, на участках с плотными почвами и небольшими уклонами.

Система водораспределения и дождеобразования штатной ДМ «Фрегат» проектировалась применительно к другим экономическим условиям и высоким напорам. Сейчас с одной стороны машины буквально разрушаются «заготовителями лома цветных металлов», а с другой – среднеструйные дождевальные аппараты при пониженных давлениях работают плохо.

Для снижения энергоемкости и обеспечения приемлемого качества полива потребовалось изменение конструкции дождеобразующих устройств и схем их расстановки по длине водопроводящего трубопровода. Для низконапорной ДМ «Фрегат» применяются различные дождевальные аппараты и способы их регулирования. Отмечена высокая эффективность и в отношении качества полива и в экономических аспектах комбинированной схемы расстановки дождевателей. Суть идеи состоит в том, что в начале и конце ДМ на  $1/6 - 1/8$  длины трубопровода располагают аппараты второй серии, а в середине, учащенно через 2,5 м, короткоструйные насадки секторного действия (типа ДМ «Кубань»). Такая схема в составе машины прошла госиспытания на двух низконапорных модификациях ДМ «Фрегат» (на пневмоходу и с уширенными гидроцилиндрами) и ДМ «Кубань-ЛК» на Южно-Украинской МИС в 1987 году. При другой регулировке этот вариант рекомендуется к применению и на высоконапорных «Фрегатах».

Помимо вышеописанной предлагаются и другие версии расстановки ДА, имея в виду и обеспечение бесстокового полива:

1) для уклонов до 0,05 и почв высокой водопроницаемости рекомендуется схема с разреженной установкой аппаратов первой, второй и третьей серий;

2) для уклонов до 0,05 и почв низкой водопроницаемости предлагается схема с расстановкой ДА только первой и второй серий, причем, последние в концевой части машины устанавливаются учащенно – через 2,5 м;

3) для уклонов до 0,07 и всех типов почв рекомендуются укороченные машины с аппаратами, как и в предыдущем случае, только без концевого.

Все вышеописанные решения, несмотря на хорошие отзывы, имеют в качестве недостатков и наличие ДА, изготовленных из цветного металла, и необходимость дополнительной перфорации трубопровода, что в заводских условиях затруднений не вызывает, а в полевых – при модернизации работающих машин затруднительно.

Еще один вариант комбинированного способа расстановки средне-струйных дождевальных аппаратов был апробирован на ДМ «Кубань-ЛК», причем, исследования проводились применительно к двум схемам: первая – серийная с интервалами между ДА третьей серии 7,5 – 10 м в концевой части и вторая – с интервалами между ДА второй серии в 2,5 м [78]. Такой приём при работе на уклонах в сравнении с серийной схемой позволил более чем в 2,5 раза снизить колебания расхода воды. В качестве негативного эффекта отмечено увеличение крупности капель к концу трубопровода и увеличение интенсивности дождя до 30%, поскольку ширина дождевого облака становится меньше, так как дальность вылета струи снижается.

Ввиду сложности комбинированной схемы разрабатывались и другие варианты, в частности, схема размещения на водопроводящем трубопроводе низконапорной ДМ короткоструйных насадок секторного действия через 2,7 м. Такой прием позволяет комплектовать машину однотипными насадками с разным проходным сечением, причем, изготавливаются они из полиэтилена. Сектор разбрызгивания рекомендуется направлять по ходу движения ДМ, чем улучшаются условия труда операторов, потому что техобслуживание и необходимый ремонт можно производить, не заходя в зону дождя. Поскольку штатные штуцера «Фрегатов» располагаются через 9,8 м, то они заглушиваются, а в трубопроводе сверлятся дополнительные отверстия и привариваются новые штуцера. Впоследствии с использованием специальных переходников на местах установки серийных аппаратов количество добавочных отверстий сократилось на 50 шт.

Это направление оказалось весьма популярным. Так в Казахстане насадки располагались через 3 метра друг от друга. Для базовой машины их количество составило 143 шт. диаметром от 2 до 6 мм. По мнению разработчиков, переход на короткоструйные дождеватели позволил повысить равномерность увлажнения почвы за счет улучшения структуры и качества дождя.

С целью предотвращения ирригационной эрозии почв и дальнейшего совершенствования дождевальной техники в плане приближения характеристик искусственного дождя к естественному средней силы, была произведена замена среднеструйных ДА на короткоструйные секторные в количестве 132 шт. Проведенные исследования показали, что средний диаметр капель после замены уменьшился в 3 – 4 раза, повысилась равномерность распределения дождя.

В работе [79] приведены конструкции и результаты исследований трех типов аппаратов: стандартная дефлекторная насадка с углом конусности  $120^\circ$ , ударно-струйная двухдефлекторная с одним плоским дефлектором; то же, но с двумя конусными дефлекторами с отверстием в одном 3,5 мм. Наибольший радиус полива оказался у третьего варианта – от двух до четырех метров, наибольшая площадь захвата дождем у второго варианта. Средняя интенсивность дождя у двух последних аппаратов уменьшилась в сравнении с первым в 1,85-2,20 раза.

Все приведенные выше модернизации отличаются друг от друга конструкциями и материалами изготовления дождевальных насадок, их количеством, схемами расстановки. Основным недостатком этих вариантов – необходимость слесарно-сварочных работ в полевых условиях на высоте, к тому же в зонах сварки выгорает цинковое покрытие, чем снижается срок службы труб.

В области совершенствования дождевальных аппаратов следует отметить работы ВолжНИИГиМ. Для качественного разбрызгивания оросительной воды с одновременным уменьшением энергетического воздействия капель дождя на почву и растения была предложена комбинированная схема с применением среднеструйных ДА № 2 и короткоструйных секторного действия. Результаты этот вариант показал хорошие, но, как и все комбинированные схемы требует разных конструкций и типоразмеров аппаратов и насадок.

Большой интерес представляют средства дождеобразования разработки этого института, выполненные из капрона. Это среднеструйные вращающиеся дождевальные аппараты; насадки с ложкообразным дефлектором, обеспечивающие угол полива около  $170^\circ$ - $180^\circ$ ; насадки с дефлектором, выполненным в виде полуконуса и рассеченного полуцилиндра. Одно- и двухсопловые ДА модернизированы путем уменьшения угла вылета струи до  $10^\circ$ - $15^\circ$  и введения в струю прерывистого рассекателя. К достоинствам предлагаемых схем следует отнести отсутствие дополнительных отверстий на водопроводящем трубопроводе. Монтаж новых ДА производится в штучера штатной машины. К тому исключается необходимость применения цветных металлов, улучшаются экологические параметры полива, и снижается стоимость дождевого пояса.

На основании комплекса научно-исследовательских работ и анализа накопленного опыта были сформулированы основные требования к дождевальным аппаратам нового поколения:

- 1) простота и высокая унификация, при которых обеспечивается низкая стоимость и наименьшие эксплуатационные затраты;
- 2) стабильность эксплуатационных показателей ДА при круглогодичном их нахождении на ДМ в течение всего срока службы, в результате чего отпадает необходимость в их ежегодном монтаже, демонтаже и хранении;
- 3) высокая надежность и долговечность, позволяющие свести к минимуму (или даже к нулю) затраты на профилактическое обслуживание и ремонт дождевого пояса;
- 4) отсутствие трущихся или вращающихся деталей;



- 5) защищенность конструкции от механических повреждений при транспортировке, падениях и ударах;
- 6) универсальность применения;
- 7) минимизация количества типоразмеров;
- 8) изготовление из полимерных материалов, что улучшает их качество и увеличивает срок службы.

К этому остается лишь добавить такие требования, как стабильность гидравлических характеристик и хорошее качество дождя; минимальное количество деталей; простота регулировок и возможность ввинчивания в штуцер и вывинчивания из него без среза резьбы.

Таким требованиям в значительной степени отвечают дождевальные аппараты конструкции СтавНИИГиМ, первым из которых был аппарат строенной конструкции. Он состоял из корпуса, переходника с дюзой и короткоструйных насадок. На одном корпусе устанавливались три насадки под углом  $120^{\circ}$  друг к другу. Все детали изготавливались из полиэтилена. Радиус захвата такого аппарата составлял 7-10 м, что позволило использовать имеющиеся на «Фрегате» штуцера без дополнительной перфорации. Диаметр дюз изменялся от 5 до 9 мм, а диаметр насадок от 3 до 8 мм, расход машины составлял 68-72 л/с.

К достоинствам этого аппарата можно отнести мелкодисперсную структуру дождя, возможность качественного полива при низких давлениях, наибольшие эксплуатационные затраты и, разумеется, возможность монтажа в штуцера штатной машины, что делает его весьма привлекательным для модернизации дождевальных машин. К недостаткам следует отнести разнообразие насадок и дюз и невозможность взаимозамены ДА по длине трубопровода. Такими устройствами было оснащено более сотни дождевальных машин в Ставропольском крае и Ростовской области. Некоторые из них работают уже более десяти лет без замечаний со стороны производителей.

Однако с середины девяностых годов выпуск этой конструкции был прекращен в связи с появлением нового варианта – аппарата с кольцевым зазором и конусным дефлектором. Оригинальность технического решения состоит в том, что благодаря подвижному конусному дефлектору появляется возможность регулирования кольцевого зазора и тем самым площади выходного сечения и расхода. Этим устраняется многотипность и многообразие образующих дождь устройств и обеспечивается предельная унифицированность – один аппарат для всей машины, а необходимая настройка осуществляется очень просто – согласно специальным схемам. При полностью закрытом зазоре появляется возможность перемещения «Фрегата» без полива.

В заключение раздела следует остановиться и ещё на одной проблеме, связанной с переводом «Фрегат» на пониженный напор. Она касается работы машины в составе оросительной системы. Дело в том, что энергетическое оборудование насосной станции остается прежним, т.е. расходы и напоры и мощность насосно-двигательных агрегатов не меняются. Их замена возможна только при реконструкции ОС. А суммарные затраты электроэнер-

гии определяются на НС и в общем-то не зависят от того, какие к ней подключены машины. В практике уже отработаны несколько вариантов привязки модернизированных машин к штатной насосной станции.

1. При сильном износе насосно-энергетических агрегатов, когда не обеспечиваются расчетные характеристики, перевод ДМ на низкий напор позволит полностью либо частично восстановить работоспособность системы.

2. В «хвостах» протяженных распределительных сетей, как правило, находятся машины не обеспеченные необходимым давлением. Модернизация таких ДМ обеспечит их надежное функционирование.

3. При возможности отключения хотя бы одного насоса, характеристики станции могут быть вполне «низконапорными» и одновременный полив можно организовать по-новому организованными группами машин.

4. Одновременный полив, если позволяют условия, можно производить и большим количеством машин, например, четырьмя вместо трех.

5. Появляется возможность подключения дополнительных в сравнении с запроектированным количеством машин.

Из всех вышеперечисленных способов только третий даст непосредственное снижение энергозатрат, в остальных случаях уменьшения энергопотребления при прочих равных условиях от перевода ДМ на низкий напор не будет, однако в этих случаях повышается работоспособность системы, надежность ее функционирования и т.п., а эффект реализуется в виде экономии эксплуатационных издержек, например, за счет сокращения объема ремонтных работ на трубопроводной сети и получения дополнительной сельхозпродукции.

В целом изложенные материалы свидетельствуют, что наиболее опасным экологическим последствием искусственного дождевания является эрозионный смыв почвы, который происходит вследствие накопления на поверхности не впитавшейся воды и формирования эрозионно-опасных течений. При этом оказывается весьма низкой и равномерность увлажнения активного слоя почвы. Известно, что на процесс возникновения и развития эрозии влияют с одной стороны интенсивность, крупность капель и другие характеристики дождя, с другой – поливной режим и технология полива, а с третьей – свойства почвы, состояние её поверхности и рельеф. По мере снижения водопроницаемости почв при прочих равных условиях увеличивается и опасность эрозионного смыва. Однако в области разработки почвосберегающих технологий дождевания различными машинами и комплексных мероприятий по борьбе с ирригационной эрозией почв имеется существенное отставание от теоретической основы, в особенности применительно к условиям конкретных эрозионно-опасных оросительных систем и участков, поэтому до настоящего времени они не являются проектируемым мероприятием, вследствие чего борьба с эрозией начинается уже после явного проявления её последствий, когда требуется применение дорогостоящих способов рекультивации.

Для обоснования системы почвозащитных мероприятий наукой в большом объёме изучены процессы водной эрозии, определены допустимые

потери почвы и объемы стока. Разработаны методы и составлены уравнения, моделирующие эрозионные процессы. Для решения возникающих проблем предложены различные противоэрозионные обработки орошаемых полей, показана их эффективность. Тем не менее, вопросы рационального их применения остаются открытыми и вне привязки к технологиям полива, чем в значительной мере снижается эффективность предпринимаемых усилий.

Проведенные научные исследования в области совершенствования дождевальной техники были направлены, прежде всего, на снижение рабочего давления, уменьшение интенсивности и улучшение структуры дождя, обеспечение более высокой равномерности полива и производительности машин. Однако характеристики широко применяемых отечественных дождевальных машин недостаточно обоснованы с экологической и технологической сторон, т.е. все же технические аспекты при разработке конструкций тех или иных ДМ являются преобладающими, поэтому современным почвоохранным и экономическим требованиям они отвечают в неполной мере.

Высокая не только в России, но и в мире, стоимость энергоносителей инициировала работы по снижению производственного потребления энергоресурсов. В области дождевания эта тенденция проявилась с технической стороны, как разработка машин с пониженными рабочими напорами. В нынешних экономических условиях говорить о широком внедрении каких-либо новых дождевальных машин взамен морально и физически изношенных затруднительно, поэтому речь может идти только о восстановлении и модернизации существующего парка дождевальной техники, чтобы в максимальной мере улучшить расходно-напорные характеристики ДМ, например, «Фрегатов», оставляя на высоком уровне их эксплуатационно-технологические показатели. В результате выполненного анализа различных способов перевода на низкие напоры, разработка которых начата в восьмидесятых годах прошлого столетия, установлены их основные преимущества и недостатки и рассмотрен вопрос о групповой работе низконапорных машин в составе оросительной системы. Тем самым была затронута проблема практического применения модернизированных машин, и как оказалось, если дополнительные комплектующие пользуются спросом, то к оросительным системам с низконапорными машинами относятся настороженно, и только в конце 90-х годов удалось построить в Ставропольском крае в результате реконструкции ОС, на которых в качестве базовой была принята машина с уширенными гидроцилиндрами и дождевальными аппаратами, имеющими конусный дефлектор.

## **5. Примеры расчётов некоторых параметров дождевальных машин**

При изучении вузовских курсов, связанных с дождевальными машинами, также в практической деятельности инженеров – мелиораторов, научных сотрудников и работников проектных организаций часто возникает необходимость проведения отдельных теоретических расчётов, касающихся конструкции и эксплуатации многоопорных дождевальных машин. К сожалению

рациональные расчётные методы не являются общедоступными, что является несомненным затруднением. Приведённые ниже примеры в определённой мере помогут с этим справиться.

### Задача №1

Определить общий объём сбросов воды гидроцилиндрами приводов дождевальной машины «Фрегат» за один её оборот, если максимальная цикличность (количество ходов гидроцилиндра последней тележки в минуту) равна  $N = 5,5 \frac{\text{цикл}}{\text{мин}}$ , количество тележек равно  $n = 16$  шт, а объём гидроцилиндра  $W = 8$  л и расстояние перемещения за один цикл равно  $L_{\text{ц}} = 0,16$  м. Длина первых четырёх пролётов (короткие) машины равна по 25,6 м, остальных (длинные) по 29,9 м.

### Решение

Как известно, многоопорная машина «Фрегат» – кругового действия, предварительно пронумеруем все её тележки как показано на рис. 1. Каждая из них, начиная с периферии, вращается с одинаковой угловой скоростью по окружности меньшего радиуса, и, следовательно, с меньшей линейной скоростью. Переместимся в конец ДМ и поместим наблюдателя на последнюю тележку, тогда её скорость будет переносной, а скорость предпоследней определится как

$$V_{15} = V_{16} - V_{15, 16},$$

где  $V_{15, 16}$  скорость тележки 15 относительно тележки 16.

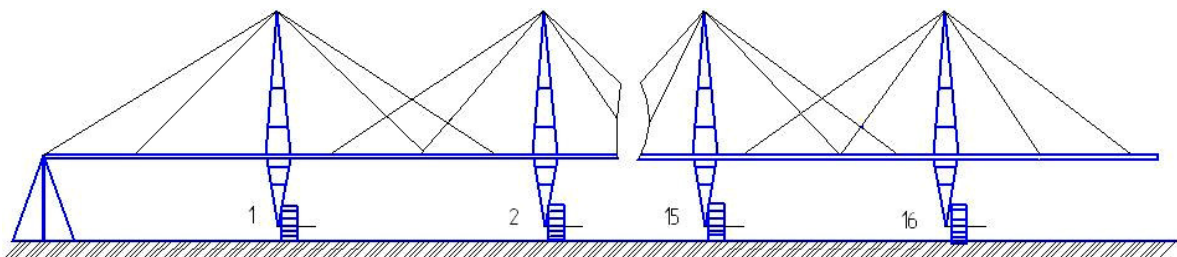


Рисунок 1. Схема дождевальной машины «Фрегат»

Помещая теперь наблюдателя последовательно на тележки 15; 14 и т. п. получим:

$$\begin{aligned} V_{14} &= V_{15} - V_{14, 15} = V_{16} - V_{15, 16} - V_{14, 15}; \\ V_{13} &= V_{14} - V_{13, 14} = V_{16} - V_{15, 16} - V_{14, 15} - V_{13, 14} \text{ и т.п.} \end{aligned}$$

В общем виде можно записать:

$$V_i = V_n - \sum_{i=1}^{i=n} \Delta V_i, \quad (1)$$

где  $\Delta V_i = V_{i, (i+1)}$  – это есть разница в скоростях пар соседних тележек.

За время полного оборота ( $t_0$ ) каждая тележка проходит путь соответствующий собственному радиусу вращения, так для последней и последующих

$$2\pi R_{16} = V_{16} \cdot t_0; 2\pi R_{15} = V_{15} \cdot t_0; 2\pi R_{15} = V_{15} \cdot t_0 \text{ и т.п.}$$

Отсюда видно, что отношение

$$\frac{R_i}{V_i} = \frac{t_0}{2\pi} = \text{const}$$

Определим постоянную по последней тележке, предварительно определив ее скорость

$$V_{16} = N \cdot L_{\text{ц}} = 5,5 \cdot 0,16 = 0,88 \text{ м/мин.}$$

А её радиус вращения будет равен

$$R_{16} = \ell_1 \cdot n_1 + \ell_2 \cdot n_2 = 25,6 \cdot 4 + 29,9 \cdot 1,2 = 441,2 \text{ м,}$$

где  $\ell_1$  - размер короткого пролёта;

$\ell_2$  - размер длинного пролёта;

$n_1$  – количество коротких пролётов;

$n_2$  – количество длинных пролётов.

Теперь:

$$C = \frac{R_{16}}{V_{16}} = \frac{441,2}{0,88} = 501,4 \text{ мин, а } t_0 = 2\pi C = 2 \cdot 3,14 \cdot 501,4 = 3148,6 \text{ мин} = 52,5 \text{ ч.}$$

Поскольку  $L_{\text{ц}}$  для всех тележек величина постоянная, то  $V_i = L_{\text{ц}} \cdot N_i$ , а формулу 1 можно переписать в виде:

$$N_i = N - \sum_{i=1}^{i=n} \Delta N_i \quad (2)$$

Теперь ясно, что так как

$$V_i = L_{\text{ц}} \cdot N_i = \frac{R_i}{C}, \text{ то } \Delta N_i = \frac{\Delta R_i}{C \cdot L_{\text{ц}}}.$$

И отсюда определяется изменение цикличности от тележки к тележке:

$$\text{для длинных пролетов } \Delta N_{iД} = \frac{29,9}{501,6 \cdot 0,16} = 0,372 \frac{\text{цикл}}{\text{мин}};$$

для коротких пролётов  $\Delta N_{iK} = \frac{25,6}{501,6 \cdot 0,16} = 0,319 \frac{\text{цикл}}{\text{мин}}$ .

Далее по формуле 2 определяем цикличность каждой тележки (см. таблицу), и в итоге просуммировав цикличность машины в целом.

Таблица. Цикличность тележек ( $\frac{\text{цикл}}{\text{мин}} \cdot 10^{-3}$ ) дождевальная машины «Фрегат».

Номера тележек															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
79	398	717	1036	1408	1780	2152	2524	2896	3268	3640	4012	4384	4756	5128	5500

Цикличность машины будет равна  $N_{\Sigma} = 43994 \cdot 10^{-3} \frac{\text{цикл}}{\text{мин}} = 43,994 \frac{\text{цикл}}{\text{мин}}$ .

Отсюда, для заданного режима движения расход воды на привод будет равен:

$$q = W \cdot N_{\Sigma} = 8 \cdot 43,994 = 351,95 \frac{\text{л}}{\text{мин}}.$$

А за один оборот общий объём сбросов (от режима движения не зависит) составит:

$$Q = q \cdot t_0 = 351,95 \cdot 3148,6 = 1,11 \cdot 10^6 \text{ л} = 1110 \text{ м}^3 \text{ на оборот.}$$

## Задача №2

Колесо опорной тележки дождевальная машины «Фрегат» перемещается усилием толкающей штанги, кинематически соединённой с гидроцилиндром привода. Определить скорость точки А, лежащей на ободе колеса при цикличности привода  $N_{ц} = 5,5 \frac{\text{цикл}}{\text{мин}}$ , если расстояние между почвозацепами колеса равно  $\Delta L = 0,16 \text{ м}$ , а радиус колеса  $R = 0,5 \text{ м}$ .

## Решение

Точка А (см. рис. 2) совершает сложное движение, одновременно перемещаясь в продольном направлении (поступательное движение) и вращаясь вокруг центра  $O_1$  (вращательное движение). Мгновенный центр скоростей колеса будет находиться в точке О, то есть вектора скоростей всех его точек, в частности  $O_1$  и А, будут перпендикулярны отрезкам, соединяющим эти точки с центром О.

Далее время цикла движения колеса  $t_{ц}$  будет складываться из времени рабочего хода (наполнение гидроцилиндра)  $t_1$  и времени холостого или обратного хода (опорожнение гидроцилиндра)  $t_2$ . Длительность цикла обратно пропорциональна цикличности:

$$t_{ц} = \frac{1}{N_{ц}} = \frac{1}{5,5} = 0,18 \text{ мин и } t_{ц} = t_1 + t_2,$$

а так как  $t_2$  можно принять равной  $0,1t_{ц}$ , то  $t_1 = t_{ц} - 0,1t_{ц} = 0,18 - 0,1 \cdot 0,18 = 0,16$  мин.

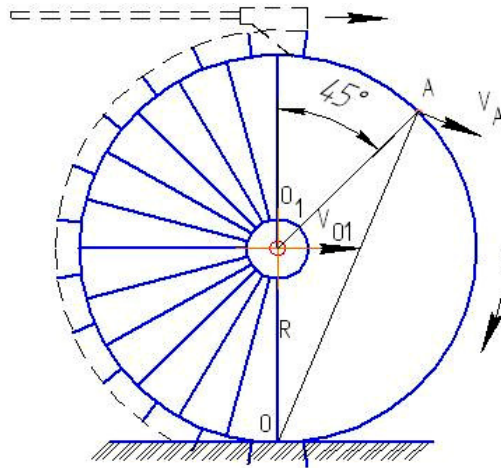


Рисунок 2. Схема колеса дождевальной машины «Фрегат»

За это время колесо перемещается на расстояние между почвозацепами и линейная скорость точек на его ободе, так же как и скорость центра  $O_1$  равна:

$$V_K = \frac{\Delta L}{t_1} = \frac{0,16}{0,16} = 1 \frac{м}{мин}, \text{ а угловая } \omega = \frac{V_K}{R} = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ мин}^{-1}.$$

Расстояние  $L_{OA}$  можно найти по теореме косинусов, которая для нашего случая после небольших преобразований примет вид:

$$L_{OA} = R \sqrt{2(1 + \cos 45^\circ)} = 0,5 \sqrt{2(1 + 0,5\sqrt{2})} = 0,92 \text{ м}$$

Теперь абсолютная скорость точки А определится из выражения:

$$V_A = L_{OA} \cdot \omega = 2 \cdot 0,92 = 1,84 \text{ м/мин.}$$

### Задача №3

Определить энергозатраты на один полив нормой  $m = 300 \text{ м}^3/\text{га}$  поля площадью  $F = 70 \text{ га}$  дождевальной машиной «Фрегат» при напоре воды на входе в машину 70 м.

### Решение

Общий объём воды, выданный машиной за время полива, составит

$$Q = m \cdot F = 300 \cdot 70 = 21 \cdot 10^3 \text{ м}^3,$$

а потребляемая при поливе мощность будет равна:

$$N = \gamma \cdot G \cdot H,$$

где  $\gamma = 10^4 \text{ Н/м}^3$  – удельный вес воды;

$G$  – расход ДМ;

$H$  – напор ДМ.

Далее, если эту мощность умножить на время полива  $t$ , то и получим искомые энергозатраты:

$$W = \gamma \cdot G \cdot H \cdot t, \text{ а так как } G \cdot t = Q, \text{ то}$$

$$W = \gamma \cdot Q \cdot H = 1 \cdot 10^4 \cdot 21 \cdot 10^3 \cdot 70 = 14,7 \cdot 10^9 \text{ дж.}$$

Эта энергия тратится на привод, транспортировку воды по тракту машины и образование дождя.

Полная же энергоёмкость полива ( $W_0$ ) определится по параметрам насосной станции, где напор  $H_0=120$  м, и к  $W$  добавятся энергозатраты на подвод воды к машине:

$$W_0 = \gamma \cdot Q \cdot H_0 = 1 \cdot 10^4 \cdot 21 \cdot 10^3 \cdot 120 = 25,2 \cdot 10^9 \text{ дж.}$$

#### Задача №4

Средняя скорость движения фронтальной дождевальнoй машины «Кубань -Л» определяется средней скоростью движения крайних опорных тележек ( $V_K$ ), а прямолинейность трубопровода обеспечивается системой синхронизации движения тележек в линию путем остановки выбегающих относительно соседних вперед и включения отставших. Определить промежутки времени непрерывного движения и стояния предпоследней тележки крыла ДМ при поливной норме  $m = 300 \text{ м}^3/\text{га}$  (30 мм).

Исходные данные: расход машины  $Q = 200 \text{ л/с}$ , коэффициент потерь дождя  $\beta = 1.2$ , ширина захвата  $B = 800 \text{ м}$ ; передаточное отношение привода промежуточных тележек  $N_{\Pi} = 2585$ , крайней –  $N_K = 3220$ , рабочий ход тележки (путь, проходимый ею от включения до выключения) –  $L_{PX} = 0,16 \text{ м}$ .

#### Решение

Составим расчётную схему (см. рис. 3) и предварительно определим скорость последней тележки из известного в мелиорации соотношения:

$$m = \frac{60Q}{\beta V_K B}, \text{ то есть } V_K = \frac{60Q}{\beta m B} = \frac{60 \cdot 200}{1,2 \cdot 30 \cdot 800} = 0,42 \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$

С учетом того, что скорость тележки обратно пропорциональна передаточному отношению привода скорость промежуточной тележки будет равна:

$$V_{\Pi} = \frac{V_K \cdot N_K}{N_{\Pi}} = \frac{0,42 \cdot 3220}{2585} = 0,52 \frac{\text{м}}{\text{мин}}.$$

Теперь поместим наблюдателя на крайнюю тележку, тогда скорость промежуточной можно найти из соотношения

$$V_{\Pi} = V_K + V_{ПК} \text{ или } V_{ПК} = V_{\Pi} - V_K \text{ или } V_{ПК} = 0,52 - 0,42 = 0,1 \frac{\text{м}}{\text{мин}},$$



здесь  $V_{ПК}$  – скорость промежуточной тележки относительно крайней.

Следующим этапом определим время движения предпоследней тележки при перемещении в пределах рабочего хода:

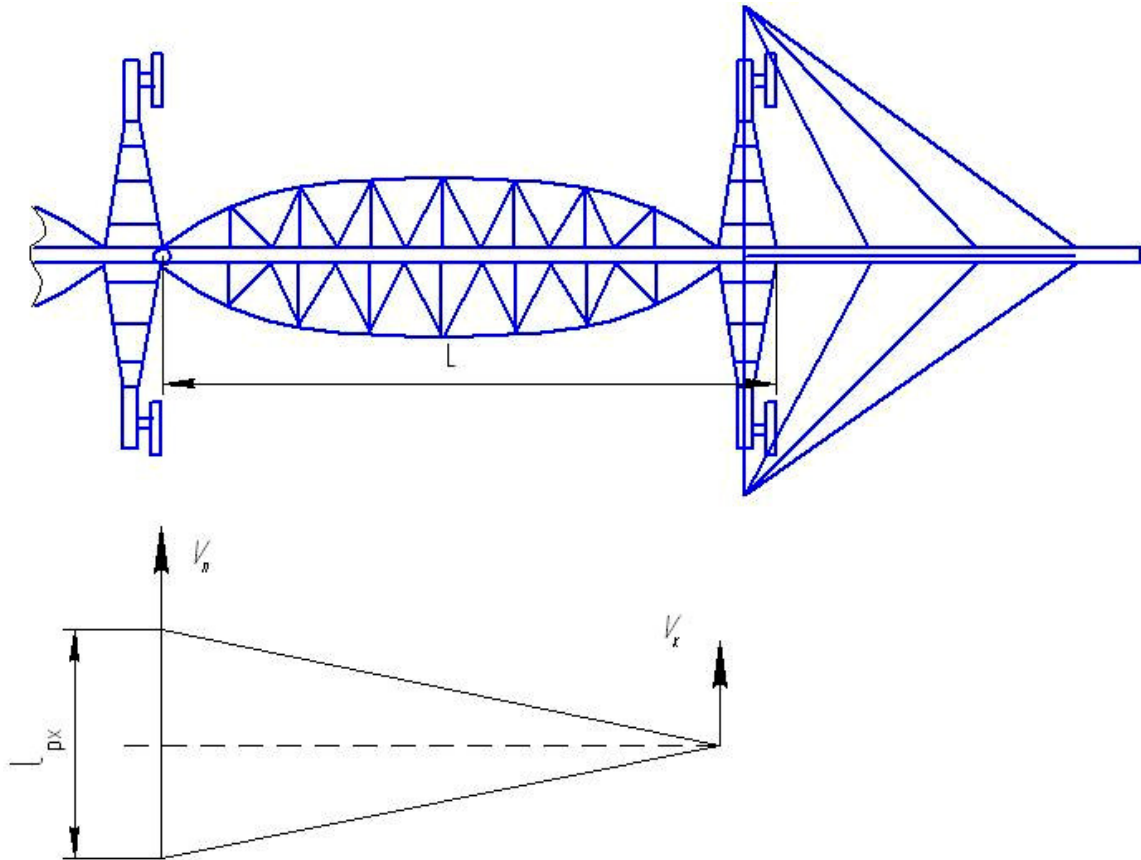


Рисунок 3. Крайние тележки дождевальной машины «Кубань»

$$t_1 = \frac{Lpx}{V_{ПК}} = \frac{0,16}{0,1} = 1,6 \text{ мин}$$

Для определения времени её стояния поместим наблюдателя на предпоследнюю тележку и тогда:

$V_K = V_{П} + V_{КП}$ , а так как она стоит, то  $V_{П} = 0$  и  $V_K = V_{КП}$ , то есть относительная скорость равна абсолютной скорости крайней тележки.

Простоит эта тележка промежуток времени равный:

$$t_2 = \frac{lpx}{V_K} = \frac{0,16}{0,42} = 0,38 \text{ мин},$$

а длительность цикла её движения (период) составит  $T = t_1 + t_2 = 1,98$  мин.

## Задача №5

На рис. 4 представлена одна из возможных схем прибора стабилизации курса фронтальной дождевальная машины с гидроприводом. Работает она следующим образом. Исходное положение механизма – нейтральное. При этом клапан 7, регулирующий расход воды, поступающей к гидроцилиндру привода, полностью открыт и расход и скорость движения тележки максимальны. При нежелательном её развороте направляющий элемент (трос, канавка и т.п.) воздействует на штангу 3, а следом и на ползун 5, прижим 6 отходит влево и клапан дросселируется, уменьшая расход. Соседняя тележка движется с прежней скоростью, и за счёт разницы скоростей происходит выравнивание по курсу центрального пролёта ДМ. Обратный ход ползуна происходит за счёт пружины 4.

Определить оптимальный профиль прижима 6.

### Решение

Рассмотрим положение ползуна в одном из промежуточных положений, где на прижим (наклонная плоскость) действуют три силы:  $P$  – реакция на усилие пружины сжатия 5 клапана 7;  $Q$  – усилие пружины 4 и сила трения –  $F_{\text{тр}}$ . Направлены они так, как показано на расчётной схеме. Разложим силы  $P$  и  $Q$  вдоль и перпендикулярно откосу прижима и составим уравнение равновесия продольных проекций сил:

$$F_2 = F_1 + F_{\text{тр}},$$

очевидно, что

$$F_1 = P \cdot \sin \alpha; F_2 = Q \cdot \cos \alpha.$$

Силу трения можно найти из следующего выражения

$$F_{\text{тр}} = f_{\text{тр}}(N_1 + N_2),$$

где прижимающие силы равны

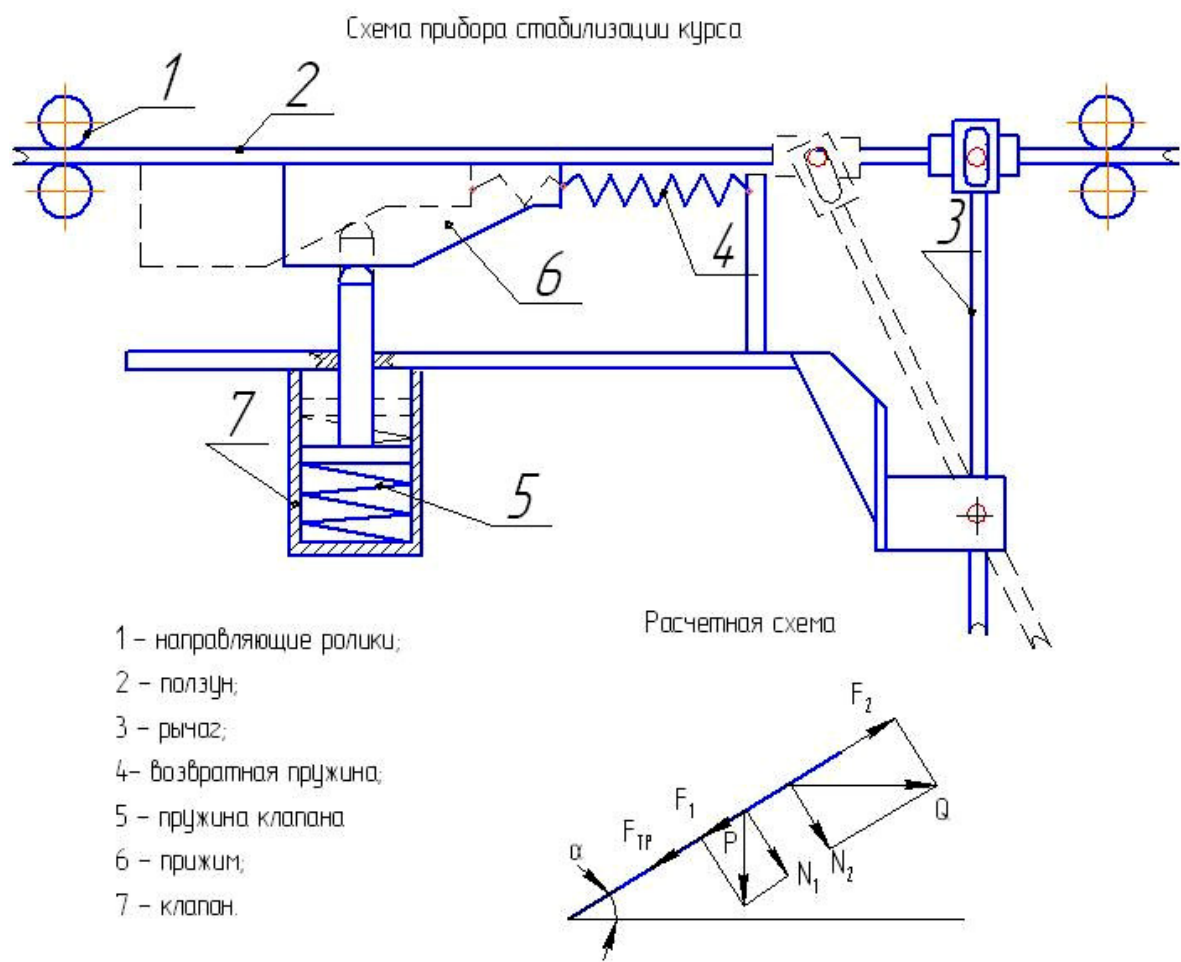
$$N_1 = P \cdot \cos \alpha, \text{ а } N_2 = Q \cdot \sin \alpha.$$

Подставим всё в исходное уравнение:

$$Q \cdot \cos \alpha = P \cdot \sin \alpha + f_{\text{тр}} (P \cdot \cos \alpha + Q \cdot \sin \alpha), \text{ откуда}$$

$$Q(\cos \alpha - f_{\text{тр}} \cdot \sin \alpha) = P(\sin \alpha + f_{\text{тр}} \cdot \cos \alpha) \text{ или}$$

$$Q = P \frac{\sin \alpha + f_{\text{тр}} \cdot \cos \alpha}{\cos \alpha - f_{\text{тр}} \cdot \sin \alpha} = K \cdot P.$$



Оптимальный профиль откоса

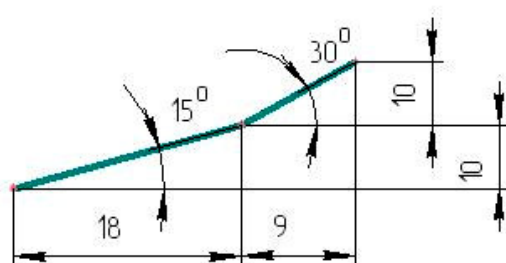


Рисунок 4. Схема прибора стабилизации курса

В последнем выражении коэффициент  $K$  зависит от профиля откоса, т. е. формы, вычислим его значения, а также значения длины откоса  $L$  в зависимости от угла  $\alpha$  при  $f_{тр} = 0,1$  и максимальной величине хода штока  $h = 10$  мм по формуле

$$L = \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Результаты представлены в нижеприведённой таблице.

Таблица. Изменения коэффициента формы  $K$  и длины откоса от угла  $\alpha$ .

$\alpha^0$	10	30	45	60
$K$	0,22	0,71	1,0	2.20
$L$ , мм	56,8	17.9	10,0	5,8

Как следует из расчётов зависимость  $K = f(\alpha)$  прямо пропорциональна, а  $L = f(\alpha)$  – обратно пропорциональна  $\alpha$ , а нам желательно иметь минимальными и одно и другое, чем минимизируется сила  $Q$  и ход ползуна (уменьшается угол разворота тележки и повышается чувствительность прибора). Выход из ситуации можно найти разными способами, в частности, принять комбинированную схему, как показано на рисунке, когда в начале обратного хода при наползании откоса на шток сила  $P$  ещё небольшая и углы  $\alpha$  можно принять увеличенными, а следом с возрастанием  $P$  их уменьшить. Теперь, зная силу  $P_{\max}$  и величину  $L_{\text{опт}}$  можно найти силу  $Q_{\max}$  и подобрать необходимую возвратную пружину.

#### Задача №6

Определить установившуюся скорость свободного падения капли воды диаметром  $d = 2$  мм при скоростях ветра  $W = 0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  и  $W = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Коэффициент аэродинамического сопротивления  $C_V$  принять равным 0,5.

#### Решение

При отсутствии ветра у свободно падающей капли вектор скорости направлен вертикально вниз и имеет постоянную (установившуюся) величину. И на неё действуют только две силы (см. рис.5): сила тяжести и сила аэродинамического сопротивления, причём:  $F = P$ .

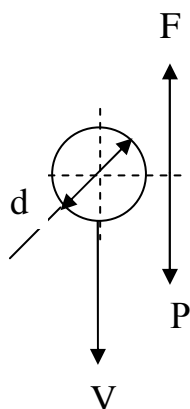


Рисунок 5

Сила аэродинамического сопротивления пропорциональна квадрату скорости и определится из формулы:

$$F = C_V \cdot f \cdot \rho_1 \frac{V^2}{2},$$

где  $f = \frac{\pi d^2}{4}$  – площадь поперечного сечения капли;

$\rho_1$  – плотность воздуха.

Сила тяжести находится из общеизвестной зависимости

$$P = \rho_2 \cdot W \cdot g,$$

где  $W = \frac{\pi d^3}{6}$  – объём капли;  $\rho_2$  – плотность воды;  $g$  – ускорение свободного падения.

Приравняем полученные выражения:  $C_V \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \rho_1 \frac{V^2}{2} = \rho_2 \cdot g \cdot \frac{\pi d^3}{6}$ .

После сокращений и преобразований получим расчётное выражение:

$$V = 1,15 \sqrt{\frac{\rho_2 \cdot g \cdot d}{\rho_1 \cdot C_V}}.$$

При температуре среды  $20^\circ\text{C}$  плотность воздуха равна  $1,21 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , а воды  $1 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , тогда

$$V = 1,15 \sqrt{\frac{1 \cdot 9,8 \cdot 2}{1,21 \cdot 0,5} 10^3 \cdot 10^{-3}} = 6,54 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

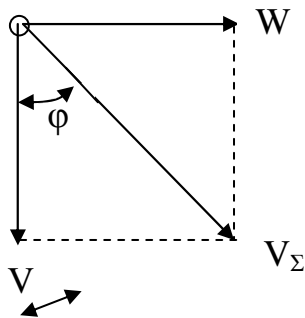


Рисунок 6

Ветер будет отклонять скорость капли от вертикали, появится её проекция на горизонталь и воспользовавшись принципом независимости движений, можно составить следующую расчётную схему (см. рис. 6).

Откуда ясно, что

$$V_{\Sigma} = \sqrt{V^2 + W^2} = \sqrt{6,54^2 + 5^2} = 8,2 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

а угол отклонения вектора скорости  $V_W$  от вертикали определится из формул:

$$\text{tg} \varphi = \frac{W}{V} = \frac{5}{6,54} = 0,764 \text{ и } \varphi = \arctg 0,764 = 37^{\circ} 21'.$$

## Задача № 7

Определить силу удара капли дождя о почву воспользовавшись данными результатами решения задачи № 6.

## Решение

Из уравнения закона сохранения движения можно получить известную зависимость, характеризующую процесс взаимодействия двух материальных тел посредством удара, когда скорость одного из них уменьшается до нуля, а второго никаких изменений в силу разных причин не претерпевает. Оно будет действительно и в нашем случае:

$$P \cdot t = m \cdot V,$$

где  $P$  – сила удара капли;  
 $t$  – длительность удара;  
 $m$  и  $V$  – масса и скорость капли.

Удар капли о почву с достаточной достоверностью можно принять неупругим, тогда время удара будет равно:

$$t = K \frac{d}{V},$$

где  $d$  – диаметр капли;  
 $K$  – коэффициент равный 0,5.

Соединяя обе формулы и подставляя исходные данные, получим:

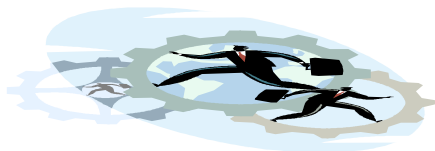
$$P = \frac{\rho \cdot \pi}{6K} V^2 \cdot d^2 = \frac{1 \cdot 10^3 \cdot 3,14}{6 \cdot 0,5} 6,24^2 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2 = 179 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \approx 18 \text{ г}.$$

#### Задача №8



Когда под дождём сильнее намокнет человек, перемещаясь бегом или шагом?

#### Решение



Примем скорость человека равной  $V$  (м/с), а интенсивность выпадения осадков равной  $i$  (мм/с). Расстояние, которое надо преодолеть до укрытия пусть равно  $L$  (м). Далее воспользуемся принципом обратимости движений и остановим человека, тогда облако дождя будет перемещаться над ним со скоростью  $-V$ , а время прохождения им пути  $L$  будет равно:

$$t = \frac{L}{V}, \text{ а слой осадков, выпавших за это время } h = i \cdot t = i \frac{L}{V}.$$

Отсюда ясно, что  $h$  обратно пропорционален  $V$ , а поскольку общий объём воды, который выльется на человека можно найти как произведение этого слоя на площадь горизонтальной проекции человеческого тела, которая в обоих случаях одинакова, то бегущий человек намокнет меньше идущего.

### 6. Конструкции дождевальных машин

В области отечественного мелиоративного машиностроения мы сейчас располагаем теми же образцами дождевальной техники, с которыми закончили восьмидесятые-девяностые годы. В течение определенного промежутка времени научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по

модернизации и восстановлению уцелевших ДМ позволили в какой-то мере сохранить имеющийся парк машин, однако теперь это направление себя исчерпало ввиду катастрофического, прежде всего, морального и материального износа техники. Нужны новые технические средства полива дождеванием, с иными, чем прежде, эксплуатационными и технологическими возможностями и параметрами.

Отечественные дождевальные машины серий «Фрегат» и «Кубань» многократно описаны и хорошо известны, поэтому здесь затрагивать их не будем, а остановимся на относительно новой и малоизвестной дождевальной машине «Мини Фрегат – ФШ», разработанной СКБ «Дождь» (см. рис. 7 и 8). От «Фрегата» у машины взят гидроцилиндр с кинематической схемой привода колёс, от «Кубани» опорная тележка, шпренгельная ферма и консоль.

Она может использоваться для полива практически всех сельскохозяйственных культур и состоит из двух ферм водопроводящего трубопровода опирающихся на три тележки, имеющие гидроприводы колес. Источником энергии для движения тележек является давление воды в водопроводящем трубопроводе машины, которая подаётся в него через гибкий шланг от гидранта стационарного поливного трубопровода. Движение тележек «в линию» обеспечивается системой синхронизации, а фронтально – системой движения по курсу, которая ведёт машину с минимальными отклонениями от направляющего троса за счёт изменения скорости крайних тележек. Наличие системы защиты обеспечивает остановку машины при возникновении неисправностей в процессе работы, предотвращая аварийную ситуацию. Регулирование нормы полива производится за счёт изменения скорости движения машины. Реверсируется машина вручную, перестановкой толкателей колёс гидропривода каждой тележки.

По мнению разработчика машина имеет следующие достоинства:

- автоматизация процесса полива, обеспечивающая минимальные трудозатраты и возможность круглосуточного дождевания;
- хорошее качество полива;
- низкая интенсивность дождя, обеспечивающая требуемое промачивание почвы без образования поверхностного стока;
- возможность внесения с поливной водой удобрительно-мелиоративных веществ за счет применения коррозионностойких материалов и покрытий;
- наличие высокого клиренса по фермам обеспечивает возможность полива высокостебельных культур;
- хорошая проходимость машины, благодаря использованию резиновых пневматических шин низкого давления с высокими грунтозахватами;
- возможность перемещения машины в процессе работы без дополнительного источника питания, используя энергию поливной воды;

- возможность использования машины на двух позициях путём установки дополнительного курсового оборудования и второй линии гидрантов.

Норма полива регулируется только вручную поворотом рукоятки крана – задатчика скорости. С машиной могут поставляться разные комплекты направляющего троса, упоров и гибкого шланга при расстоянии между гидрантами 100 и 120 м.

В зависимости от твёрдости почвы может быть и разная комплектация шин. При твёрдости на глубине 10 см 0,1-0,2 МПа рекомендуются шины 18,4 – 24; при твердости 0,2-0,3 МПа шины 18,4 – 24 или 16,0 -20; а при твёрдости более 0,3 МПа шины 16,0 – 20. Твёрдость приводится применительно к подготовленному к посеву полю при влажности почвы равной НВ.

Вдоль линии гидрантов должна быть устроена дорога шириной 5м для движения центральной тележки и волочения шланга. Рекомендуется засеивать эту дорогу низкорастущими травами. Параллельно линии гидрантов на противоположной стороне дороги устанавливается направляющий курсовой трос.

Машина предназначена для работы на орошаемых участках площадью до 26 га со спокойным рельефом. Полив осуществляется при её перемещении по полю в прямом и обратном направлениях вдоль гидрантов оросительной сети. Оснащается среднеструйными дождевальными аппаратами кругового действия в количестве 21 шт, низконапорными дождевальными аппаратами – 2 шт и двумя концевыми аппаратами секторного типа.

#### Техническая характеристика

Рабочее давление на гидранте, МПа	0, 56 – 0,58
Расход воды, л/с	26
Ширина захвата дождём, м	200
Диаметр водопроводящего трубопровода, мм	100
Количество тележек	3
Клиренс по ферме, м	2,7
Площадь орошения, га	12 - 26
Скорость движения, м/мин	0,16 – 0,64
Норма полива за проход, м <sup>3</sup> /га	110 – 450
Производительность за час основного времени при норме 300 м <sup>3</sup> /га, га/ч	0,3
Средний диаметр капли, мм, не более	1,5
Допустимый уклон вдоль водопроводящего пояса машины	
Масса, т	6,5
Срок службы, лет	12



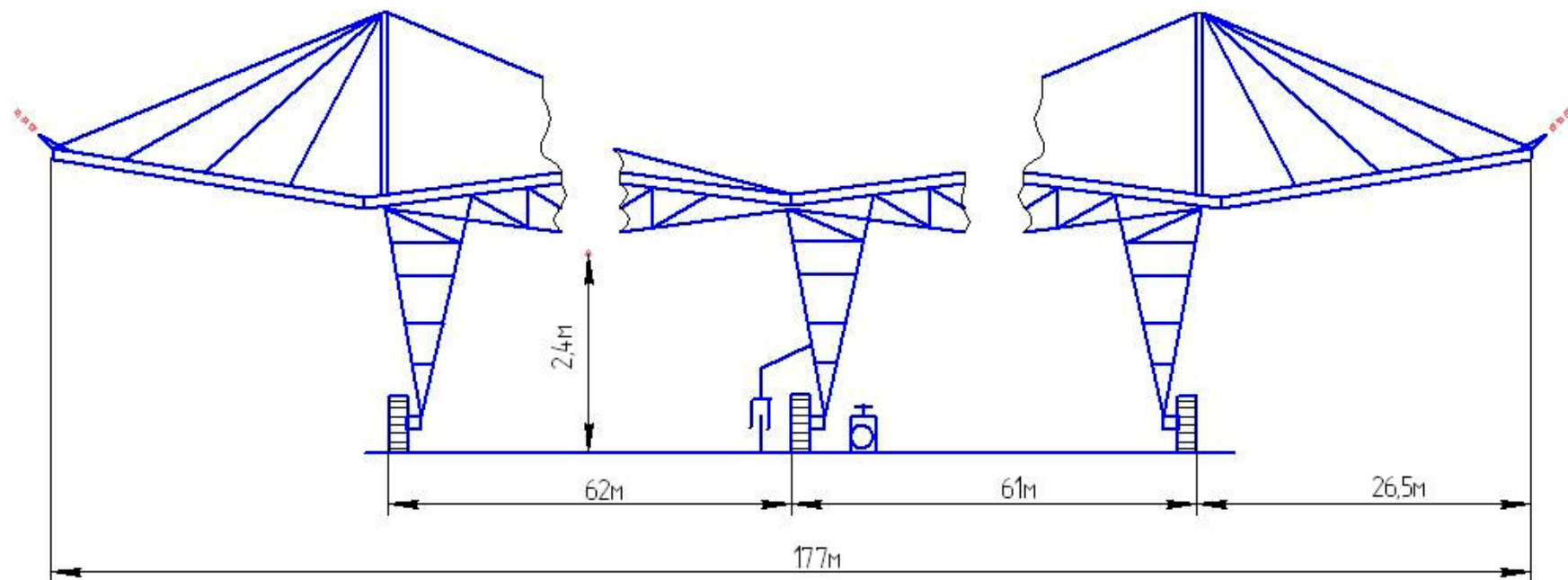


Рисунок 7. Дождевальная машина «Мини – Фрегат – ФШ»

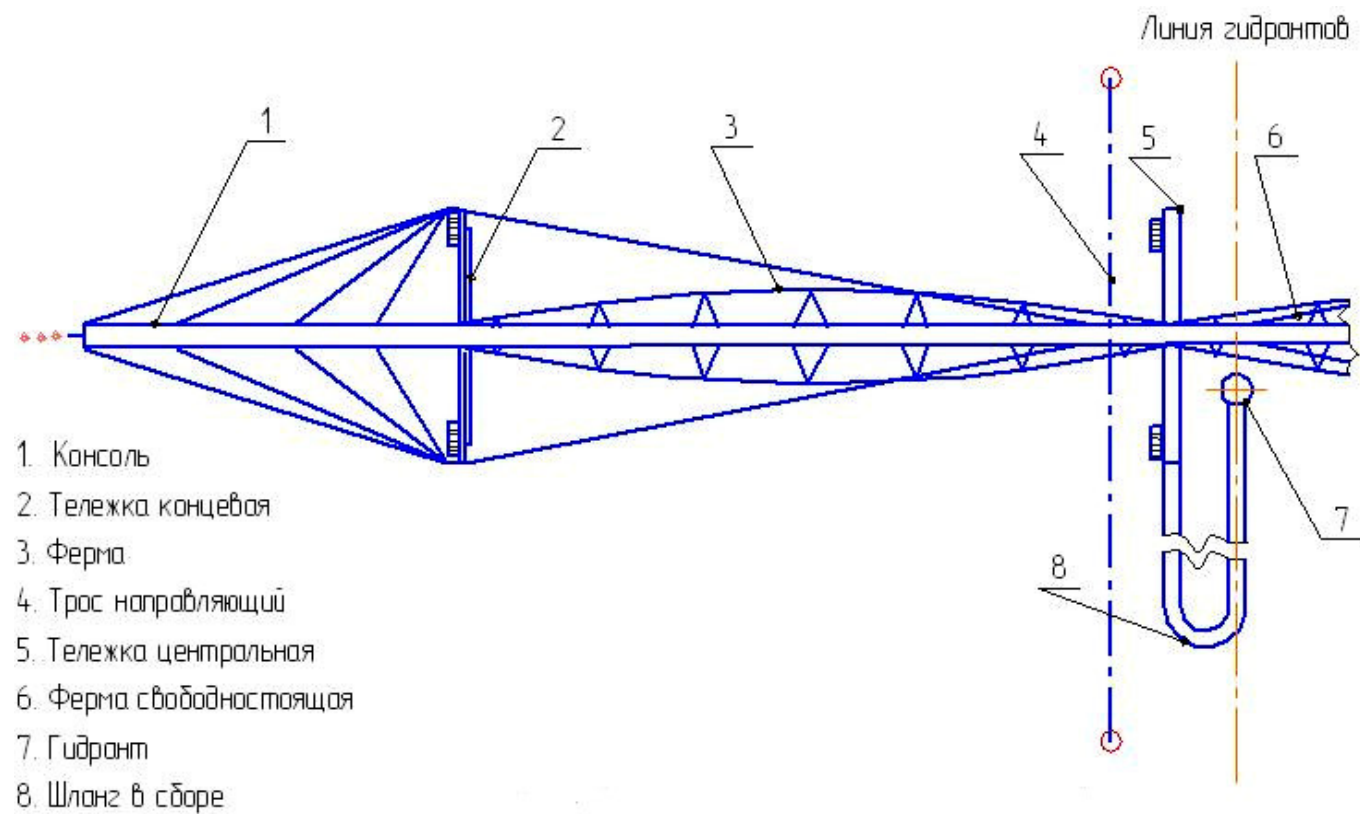


Рисунок 8. Дождевальная машина «Мини – Фрегат – ФШ»

## 7. Зарубежная дождевальная техника

### 7.1. Фирма RKD (Испания)

Фирмой выпускаются многоопорные дождевальные машины для полива полей среднего и большого размера с разными сельскохозяйственными культурами в различных почвенно-климатических зонах, чем объясняется разнообразие модификаций машин и их функциональных возможностей. Отличительными признаками ДМ фирмы являются способность работать при малых и уменьшенных напорах, наличие автономного или централизованного энергоснабжения, забор воды из открытого канала или с питанием по гибкому шлангу, гидранта трубчатой напорной оросительной сети.

Машины выпускаются фронтальные и круговые, а также мультицентральные, поворотные и ипподромные (овальные поля). При количестве пролетов от одного и выше траектории движения могут быть прямолинейными, круговыми, поворотными и комбинированными. В качестве дождеобразующих устройств используются насадки и аппараты различных типов с рабочими давлениями от 0,42 до 5,2 кг/см<sup>2</sup>.



Рисунок 9

Рассмотрим подробнее стандартную дождевальную систему серии HRL (Ніродromo). Она представлена на рисунках 1-4 и выполнена по односторонней схеме с широкой четырехколёсной центральной тележкой, которая пригружена балластом – бетонными блоками (см. рис. 9). Какие-либо энергооборудующие устройства на ней отсутствуют.



Рисунок 10

На оросительной системе с такими машинами должна быть высоконапорная трубчатая сеть с соответствующими параметрами насосной станции с тем, чтобы продавить не только магистрали, но и длинный гибкий подводящий шланг, а также подземная кабельная распределительная электросеть с соответствующей арматурой и тоже с гибким подводящим кабелем. Это делает предпочтительным в случае применения таких ДМ компактное расположение полей и наличие вблизи высоковольтных стационарных ЛЭП, которые коммутируются с системной электросетью через понижающую подстанцию.

Прямолинейность движения машины обеспечивается системой стабилизации курса с направляющей земляной канавкой (рис. 9,10,11), в которую помещаются специальные штанги, соединенные с системой стабилизации курса. Одна из штанг работает при движении вперед, а вторая – назад. Отечественные аналоги такой системы впервые отработаны СтавНИИГиМом на экспериментальной дождевальной машине «Нива».





Рисунок 11



Рисунок 12

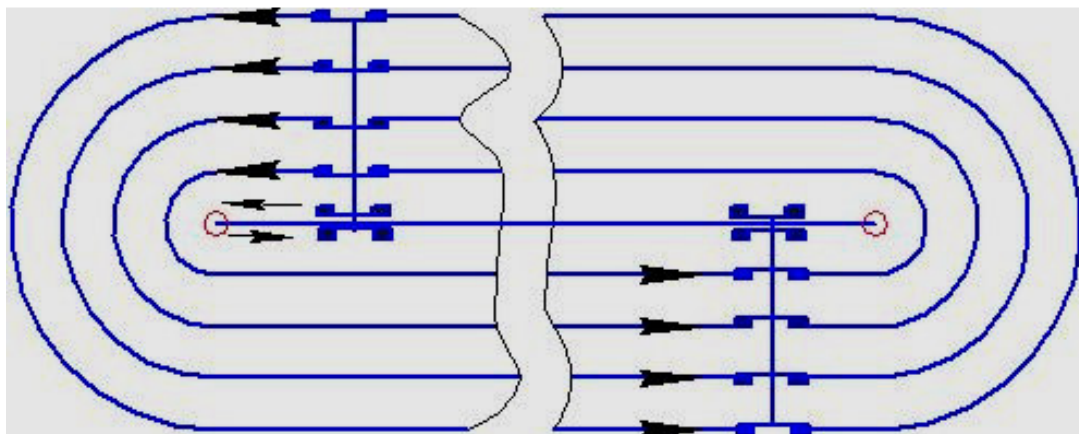


Рисунок 13



Рисунок 14

Машина может поливать поля не только прямоугольной, но и овальной формы, не прекращая поливов во время разворотов (рис. 12,13), на рис. 14 как раз такой разворот и показан. Причём, центральная тележка остается неподвижной, а дождевой пояс поворачивается в стыковочном шарнире. Технически такой приём весьма сложно осуществить, так как настройка приборов синхронизации движения опорных тележек в линию при прямолинейном и круговом движении разные, разная и настройка дождевальных аппаратов. Но зато существенно повышается эффективность применения машины за



счёт увеличения поливаемой площади, снижения удельной материалоемкости и т.п.



Рисунок 15



Рисунок 16

На рисунках 15 и 16 показаны две односторонние машины марки Lateral, в отличие от вышеописанных имеющие узкие центральные тележки, на которых дополнительно располагается дизельный двигатель с генератором и топливным баком. Этим достигается автономность энергоснабжения (исключаются распределительные электросети). Машина Lateral 4 (рис. 15) не разворотная и поливает поля прямоугольной формы, расположенные сбоку трассы движения, а Lateral 4 + 2R (рис. 16), разворотная и маневр осуществляется на двух опущенных торцевых колёсах вместе с центральной тележкой.

На рисунках 17 и 18 показан вариант использования в качестве направляющего элемента системы стабилизации движения машины по курсу надземного троса, как у «Кубани – ЛК». Понятно, что такой вариант конструкции целесообразен для крупноразмерных длинных полей.



Рисунок 17

Фирмой выпускаются и машины с забором воды из открытого канала. Они оснащены всасывающей линией и автономной насосной станцией, расположенной на центральной тележке. Энергоснабжение – дизель-генератором или по гибкому кабелю.

Производятся и двухсторонние с симметричными и ассиметричными относительно трассы центральной тележки крыльями машины. На рис. 19 показана ДМ LA 0590, а на рис. 20 ДМ LA 604 (здесь видно устройство для остановки машины на краю поля). Обе широкозахватные и неразворотные, а центральные тележки ввиду наличия централизованного водо-, энергоснабжения имеют простую двухколёсную компоновку.





Рисунок 18



Рисунок 19



Рисунок 20



Рисунок 21

Из других фронтальных машин следует отметить ДМ RKD Multi, которая выполнена похожей на ДМ серии HRL, но поливать может Г и даже U – образные поля. Выпускается и однопролетная с двумя консолями машина LA – 608 (рис.21), оснащенная одной ведущей и одной ведомой тележкой. Ус-



тойчиво работает и на уклонах. Обе машины требуют централизованного водо- и электроснабжения.

Фирмой выпускаются и разнообразные машины кругового действия. На рисунках 22 и 23 показана такая стационарная многоопорная ДМ Pivot Center. Центральная опора (рис.23) анкерными болтами крепится к квадратной бетонной плите, которая обеспечивает устойчивость конструкции к крутящему моменту, возникающему при вращении пролетов. Подача воды осуществляется через вертикальный стояк и колено, изготовленные из оцинкованной стальной трубы диаметром 219 мм. Здесь же смонтирован и токо-съемник. Стандартный клиренс машины 3,3 м, а в специальных моделях может достигать 4,1 м. Понятно, что и эта и другие круговые дождевальные машины с электроприводом неавтономны и требуют подвода электроэнергии и под напором воды. Отсюда и необходимость оснащения системы соответствующими сетями.



Рисунок 22

Машины марки Center Mono однопролетные (пролет + консоль) узкозахватные с радиусом полива до 100 м (3,8 га), могут поливать небольшие изолированные участки, а так же устанавливаться на неполиваемых площадях систем с многоопорными круговыми ДМ. К этому в модификации Mono Multicenter поливают с нескольких позиций и с позиции на позицию перемещаются самостоятельно.



Рисунок 23



Рисунок 24

Сконструированы и многопролетные круговые ДМ системы Multicenter (рис. 24). Опять же переезды происходят без помощи трактора. Рекомендуется полив 2-х, 3-х и даже 4-х полей. Перед перемещением тележки поднимаются установленными на них гидродомкратами и колёса разворачиваются на 90°. Процесс происходит без ручных операций. Потом оператор перегоняет машину на другую позицию. Энергия при этом подаётся по специальному, намотанному на барабан центральной тележки кабелю.



## 7.2. Фирма Valmont Irrigation (США)

Фирма является ведущей в мире в области разработки и производства дождевальной техники и, пожалуй, наиболее известна в России, причем, еще с 60-х годов, когда нами была куплена машина «Фрегат» (Valley). Фирма считает, что является единственным в мире производителем, у которого имеется собственный инженерный штат специалистов по орошению, и разработчиков новой техники. К тому же все поступающие извне комплектующие подвергаются тестированию и аттестации. Машины фирмы могут оснащаться по-разному.

1. Бустерными насосами, устанавливаемыми к концу трубопровода, мощностью 1,5; 3,7 и 5,6 кВт. Они служат для повышения давления перед концевым дождевальным аппаратом, что увеличивает ширину облака дождя.
2. Комплектами «сухой колеи», причем, считается целесообразным их использование при размещении машин на плотных почвах, склоновых, по мнению специалистов фирмы, к интенсивному колееобразованию. По нашему же мнению на образование колеи существенное влияние оказывают и другие факторы: водопроницаемость почвы; уклоны поля; культура; поливной режим и т.п. К тому же проблематичен положительный эффект таких конструкций в зонах с частыми ветрами.
3. Различными типами и вариантами расположения дождевальных насадок, начиная с рабочих давлений  $0,5 \text{ кг/см}^2$ . На рисунках 25 – 26 показаны машины, оснащенные системами приземного дождевания с насадками с плоским дефлектором, а на рис. 27 система со спускающимися на стальных трубах насадками (шаг 2 м) с вращающимися распылителями и регуляторами давления.



Рисунок 25

Рисунок 26 →



4. Устройствами для обработки полей химическими препаратами, включая удобрения, инсектициды, фунгициды и т.п. Фронтальная дождевальная машина с емкостью для транспортировки химрастворов представлена на рисунке 28.
5. Регуляторами давления и расхода воды при расположении машины на пересеченной местности.

Для индивидуального управления отдельной тележкой и для централизованного управления работой группы машин фирмой разработана компьютерная технология CAMS. Она позволяет вручную и автоматически осуществлять пуск и остановку ДМ, регулирование поливных норм, реверсирование движения, включение дозировки и отключение подачи химикатов. Для контрольных функций используются дождемеры. Помимо этого осуществляется общий учет и контроль параметров, характеризующих работу и процесс эксплуатации машин. Система CAMS состоит из панели управления на каждой ДМ и базовой станции Valley, причем, главный компьютер может быть установлен в офисе и даже на дому. Таким образом, можно контролировать работу от одной до сотни ДМ.



Рисунок 27



Рисунок 28

Конструкции опорных тележек пролетов (от 33 до 62 м) традиционны (рис. 29), а на рисунке 30 показана односторонняя фронтальная машина фирмы с двухколёсной центральной тележкой, автономной дизельэлектрической станцией и подачей воды по гибкому шлангу.



Рисунок 29



Рисунок 30





Рисунок 31

Центральная опора круговой ДМ колесной конструкции представлена на рис. 31. Такая схема позволяет избежать устройства мощных центральных опор, однако могут применяться и специальные земляные якоря.

Фирмой также рекомендуется работа круговых дождевальных машин на нескольких позициях. Так предыдущая дождевальная машина является легкобуксируемой в разных на-

правлениях. Буксировка центральной опоры на салазках (рис. 32) рекомендуется при нечастых переездах. Перемещаться с поля на поле могут и фронтальные дождевальные машины. Так на рисунках 33 и 34 показана транспортировка таких ДМ с автономной энергоустановкой и без неё.

С 1974 года фирма выпускает круговые машины с угловыми системами. В нашей терминологии – с устройствами для полива углов. Такие ДМ могут поливать квадратные и прямоугольные поля, в том



Рисунок 32



Рисунок 33

числе и поля неправильной формы. С внешней стороны конструкция выглядит как добавление к машине ещё одного дополнительного периферийного пролёта, при этом такой пролёт имеет возможность самостоятельного независимого от машины перемещения, причём кругового, с мгновенным центром вращения в шарнире предпоследней опорной тележки. Совместно с ДМ последний дополнительный пролёт осуществляет сложное движение:



Рисунок 34

маневры. Ко всему прочему осуществляется управление и работой дождевальных аппаратов.

Направляющая система представляет собой подземный кабель, который излучает низкочастотный сигнал, воспринимаемый аппаратом, расположенным на тележке. Эти аппараты разные – прямого и обратного управления и обеспечивают движение пролёта вперёд и назад.

По данным разработчика размещение на стандартном для США орошаемом участке в 650 га круговых машин с поливом углов по сравнению с

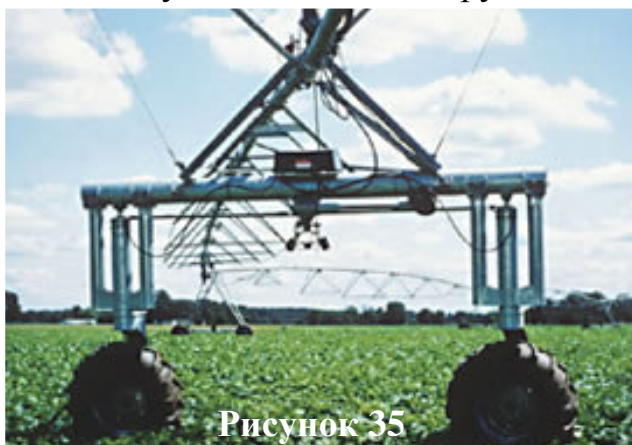


Рисунок 35

с оснащением дизельного двигателя мощностью от 30 до 250 л.с. + насос + электрогенератор или посредством гибкого шланга, присоединенного к напорной распределительной сети. Шланг полиэтиленовый с внутренним диаметром до 152 мм при шланговом питании расход воды может варьироваться от 12 до 82 л/с.

предпоследний пролёт – переносное, а последний – относительное. Перемещением углового пролёта управляют посредством специального кабеля подземной направляющей системы вручную или автоматически.

Сложное движение требует поворотов колёс, и поэтому, как показано на рисунках 35 и 36, последняя тележка имеет сложную конструкцию, позволяющую осуществлять такие

обычными позволяет дополнительно поливать 77 га. Окупаемость обеспечивается за 3 года.

Фронтальные дождевальные машины, выпускаемые фирмой, имеют длину до 1000 м и могут поливать поля от 4 до 400 га с уклонами до 6%. ДМ кругового и фронтального действия семейства Valley во многом унифицированы. Последние могут забирать воду непосредственно из канала



Рисунок 36

В зависимости от ширины захвата, нагрузки и вариантов энерго-водообеспечения центральные тележки машин могут быть двух - и четырёх-колёсными; машины чисто фронтальными и нетранспортабельными с поля на поле, мобильные буксируемые, а также разворотные и поворотные. Стандартными для фирмы направляющими системами являются системы с использованием подземного кабеля, а также направляющего троса и земляной борозды.

### 7.3. Фирма WADE RAIN (США)

Фирма является крупным производителем технических средств орошения дождеванием. Выпускает самоходные колесные дождевальные системы и колесные трубопроводы фронтального действия, разборные (переносные) дождевательные установки, а также дождеватели с дальнеструйными аппаратами и машины с поливом в движении по кругу. Последние показаны на рисунках 37, 38, 39.



Рисунок 37

Машины фирмы имеют длину пролётов от 37,5 до 61,9 м, которые собираются из отдельных труб стандартной длины, а поперечно-продольный силовой набор ферм стандартизирован, изготавливается из легированной стали и оригинально сконст-

руирован. Шарнирное соединение пролетов обеспечивает их плавное относительно друг – друга движение в большом диапазоне углов поворота. Допускается межпролетный уклон до  $18^\circ$  в любом направлении.

Сами трубы могут быть как стальными оцинкованными, так и со специальным эпоксидным покрытием внутренних стенок типа NAP – GARD, который устойчив к химикатам, применяемым в сельском хозяйстве. Обеспечивается



Рисунок 38

также высокая устойчивость к коррозии, минеральным отложениям, и помимо этого при движении потока в трубе снижается трение.



Рисунок 39

#### 7.4. Фирма T-L IRRIGATION COMPANY (Канада)

Дождевальные машины фирмы T-L имеют непрерывный режим перемещения опорных тележек, благодаря чему повышается точность выдачи поливной нормы. Рассмотрим, с чем это связано, в начале на примере ДМ с гидроприводом типа «Фрегат», который как известно имеет циклический режим работы. Фактически каждая тележка перемещается только при наполнении гидроцилиндра, а при опорожнении стоит. Общее время цикла будет равно:

$$t_{\text{ц}} = t_1 + t_2,$$

где  $t_1$  и  $t_2$  – соответственно время наполнения и опорожнения цилиндра.

Теперь, как мы это обычно делаем, определим по известной формуле расчётную поливную норму для фронтальной ДМ:

$$m = \frac{60Q}{\mu \cdot B \cdot V} = \frac{60Q}{\mu \cdot B \cdot \frac{L}{t_{\text{ц}}}}.$$

Фактическая же будет равна:

$$m_{\text{ф}} = \frac{60Q}{\mu \cdot B \cdot V_1} = \frac{60Q}{\mu \cdot B \cdot \frac{L}{t_1}} + \frac{60 \cdot Q \cdot t_2}{B \cdot h} = \frac{60Q}{\mu \cdot B \cdot \frac{L}{t_1}} + \Delta m.$$

Здесь  $L$  – расстояние, проходимое тележкой за время наполнения цилиндра, а  $h$  – поперечный размер облака дождя,  $\Delta m$  – количество дождя, выпадающее при стоянии тележки за время  $t_2$ .

Из этих соотношений следует

$$\frac{m_{\text{ф}}}{m} = \frac{t_1}{t_{\text{ц}}} + \frac{\Delta m}{m}.$$

Отсюда видно, что разница в расчётных и фактических нормах весьма заметна и тем больше, чем быстрее движется машина.

Не меняет положения и «старт – стопный» режим движения дождевальных машин с электроприводом, например, как у «Кубаней». Только теперь приходится оперировать не с циклическостью, а с некоторым условным временем  $t_y$  и соответствующей ему скоростью движения:

$$t_y = T \cdot \frac{t_1}{t_{\text{ц}}},$$

где  $T$  – реальное время;



$t_1$  – длительность времени импульса для соответствующего режима работы.

Заметное отличие расчётных поливных норм от фактических было экспериментально обнаружено у первых образцов машин семейства «Кубань», поэтому и была разработана специальная методика их корректировки. Впоследствии инструкция по эксплуатации ДМ была соответствующим образом изменена.

На рисунке 40 показана одна из многоопорных ДМ фирмы Т-Л. Эксклюзивная конструкция гидравлического привода даёт существенные преимущества по сравнению с электроприводом. Каждая опорная тележка перемещается непрерывно и плавно и при этом, помимо прочего, уменьшается вероятность застревания колес.



Рисунок 40

Гидропривод (рис. 41 и 42) состоит из гидронасоса, гидродвигателей на каждом колесе тележки, нагнетательной и сливной магистралей, устройств автоматического управления. Система заполняется специальной гидравлической жидкостью Hydroclear не ядовитой и экологически безопасной. Одной заправки хватает на поливной сезон.



Рисунок 41



Рисунок 42





Рисунок 43

Передача вращения на колеса может осуществляться с помощью планетарного или червячного редукторов.

Управление системами автоматизации фронтальных машин фирмы традиционно: с помощью направляющей борозды или подземного кабеля вода может забираться из оросительных каналов в земляном русле или бетонированных лотков или через волочащийся шланг. Можно выбирать мягкий или жесткий шланг секциями длиной 16,5 м различных диаметров от 3 до 5 дюймов.

Дождевальные машины кругового действия с четырёх- и двухколёсными центральными тележками (рис. 43 -

44) могут поливать на нескольких позициях. Они оснащаются источником энергии, гидравлическим насосом и топливным баком, могут использовать подземный или поверхностный трубопроводы. Оборудуются разнотипными устройствами для полива углов: при помощи специального дождевального аппарата и специального пролёта (рис. 45). Электрическое напряжение на машинах отсутствует, чем повышается безопасность работы оператора и устраняется потребность в дорогостоящем электрооборудовании. В состав ЗИП входит и гидравлический, выполненный в виде ножниц, домкрат (рис. 46), который позволяет быстро переводить колёса в транспортное положение при переездах и обратно.



Рисунок 44



Рисунок 45

Управление скоростью вращения гидродвигателя осуществляется с помощью двух гидроклапанов. Может осуществляться вручную и автоматически. Система управления с помощью компьютера включает: датчик скорости, аппарат включения и выключения системы, устройство изменения скорости и включения заднего хода, устройство, обеспечивающее подачу растворённых в воде удобрений и других химических препаратов, прибор включения (выключения)



концевого дождевального аппарата (при поливе в движении по кругу). Измеряются и записываются такие параметры технологического процесса как поливная норма, время с начала полива, скорость концевой тележки. Дистанционный монитор может использоваться для управления с помощью сотовой или радиосвязи.



Рисунок 46

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современное состояние мелиоративной науки и практики орошения свидетельствует о необходимости и актуальности выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области совершенствования технологий и технических средств полива дождеванием с учётом требований экономического и экологического характера с опорой на новейшие отечественные и мировые научно-технические достижения. И только комплексный системный подход к решению поставленных задач позволит разработать современные научно-обоснованные положения по обеспечению эффективной работы, модернизации и созданию новых образцов дождевальной техники.

В этой связи весьма полезным оказывается, хотя и неполный, по причинам сокрытия фирмами-изготовителями технических характеристик и подробностей конструкций, обзор зарубежных многоопорных дождевальных машин. Как правило, дилерская фирма запрашивает информацию о предполагаемом участке размещения и пожеланиях заказчика, а затем уже предлагает адекватную по её мнению модель. Именно последнее и вызывает определенную настороженность, тем более что критерии выбора не разглашаются, хотя это, несомненно, шаг в нужном направлении.

**Первое**, что необходимо отметить в практике зарубежного мелиоративного машиностроения, это появление, наряду с традиционными фронтальными и круговыми ДМ, их комбинации: машин ипподромного типа и поливающих поля с изломами трассы движения. Это уже снижает требования к конфигурации орошаемого участка, повышает КЗИ и снижает удельную материалоемкость и энергоемкость.

**Второе** – появление короткозахватных машин кругового действия, на которых сложно организовать качественный полив. И если эта задача решена, то остаются проблемы эксплуатационных дорог, полива углов и т.п.

**Третье** – полив углов полей широкозахватными круговыми машинами в мире вопрос уже решённый.

**Четвёртое** – широкое предложение машин кругового действия, допускающих полив на двух и более позициях, хотя в нашей стране в своё время такая технология была отвергнута по причинам сложности, большой трудоёмкости и длительности операции перемещения ДМ с позиции на позицию.

**Пятое** – практически полный отказ от гидропривода в пользу электричества. Только одна фирма TL использует гидравлическую энергию, но в варианте «гидронасос – гидродвигатель» с использованием в качестве рабочей специальной масляной жидкости.

**Шестое** – полный отказ от вантово-ферменных (как у ДМ «Фрегат») конструкций пролетов. Фермы (кроме консолей) изготавливаются только шпренгельными. Нет и металлических колес.

**Седьмое** – системы автоматического управления движением машин позволяют осуществлять переход с кругового движения пролетов на прямолинейное и наоборот машин ипподромного типа.

**Восьмое** – для управления движением фронтальных дождевальных машин широко используется такой направляющий элемент, как временная земляная канавка, в которой перемещается чувствительный элемент системы стабилизации курса.

**Девятое** – водопроводящие трубопроводы изготавливаются не только из обычных сталей с цинковым покрытием, а для этих целей применяются легированные стали и алюминиевые сплавы. Фирма WR использует для защиты внутренних поверхностей труб специальные эпоксидные составы.

**Десятое** – машины могут оснащаться сниженными, практически до верхушек низкостебельных растений, дождевальными насадками, причём этот приём широко распространён. Следует отдавать себе отчёт, что наряду с такими явными его преимуществами как повышение коэффициента эффективного полива и уменьшении потерь оросительной воды на испарение и унос ветром, повышается интенсивность дождя и снижаются эрозионно-допустимые поливные нормы, а это при определённых условиях усиливает процессы ирригационной эрозии и негативно сказывается на плодородии почв. Ухудшается и проходимость машин.

Большой прогресс достигнут за рубежом в области автоматизации процесса полива. Управление работой дождевальных машин может осуществляться вручную, из специального системного диспетчерского пункта, из офиса и т.п. с помощью сотовой связи, системы GPS. Машины оснащаются компьютерами, которые помимо контрольно-управленческих функций, регистрируют эксплуатационно-технологические параметры работы ДМ.

Считаем, что отдельные участки по разным регионам с современными зарубежными машинами строить целесообразно, с тем, чтобы не только учиться поливать по-новому, но и реально опираясь на собственный и зарубежный опыт, придать новый импульс развитию мелиоративной науки и практики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Ризенкамф Г.К.* Основы ирригации. – т. 1.– Л., ОГИЗ-Сельхозгиз, 1925. – 604 с.
2. *Гудзон Н.* Охрана почв и борьба с эрозией.– М.: Колос, 1974.– 304 с.
3. *Каштанов А.Н., Заславский М.Н.* Почвозащитное земледелие.– М.: Россельхозиздат, 1983. – 462 с.
4. *Antognini J.* Les forces de L'erosions des sols les herbicides // BASF Informations Agricole.– 1983. – v. 2. – P.8-13.
5. Erosion's price tag. // Progr. Farmer. – 1985. – v.10.– №11.– P.19 -21.
6. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: Справочник / Под ред. Б.Б. Шумакова. – М.: Колос, 1999. – 432 с.
7. *Багров М.Н., Кружилин И.Т.* Прогрессивная технология орошения сельскохозяйственных культур. – М.: Колос, 1980. – 208 с.
8. *Барабаш А.А.* и др. Экономико-экологический эффект шагающего движителя дождевальных машин // Мелиорация и водное хозяйство. – 1993. – № 2. – С. 34-35.
9. *Горбанев В.Н.* и др. Негативные процессы в почвенном покрове Восточной Сибири // Мелиорация и водное хозяйство. – 1995. – № 4. – С.16 – 18.
10. *Карпенко В.Д.* Влияние объемной массы почвы на эрозионно-допустимые нормы полива при дождевании // Освоение мелиорированных земель Сибири: Сб. науч. тр. / СибНИИГиМ. – Красноярск, 1981. – С.140–142
11. *Гаврилица А.О.* и др. Научные и практические проблемы орошения склоновых земель дождеванием // Вопросы мелиорации почв и воды: Сб. науч.тр. / УкрНИИГиМ. – Киев, 1987. – С.88-97.
12. *Филимонова В.А., Аверьянов О.А.* Ирригационная эрозия на светло-каштановых почвах Волгоградской области и пути ее преодоления // Пути интенсификации орошаемых земель Северного Кавказа / Тез. докл. и сообщ. на конф. 6-8 сент. 1983 г. Ставрополь. – Ставрополь, 1983. – С.44-46
13. *Jonson G.* Analjsis of center pivot irriganion sistems operating in ahumid – area environment // Transaction of the ASAE. – 1987. – v.30. - №6. – P.1720-1725.
14. *Кузнецов М.С., Григорьев В.Я., Хан К.Ю.* Ирригационная эрозия почв и ее предупреждение при поливах дождеванием. – М.: Наука, 1990. – 120 с.
15. *Frielinghans M.* Maschinenkrummung, Spurtreue und Ertragsverluste durch Spurbildung bei rollenden und fahrenden Beregnungsmaschinen // Archiv fur Acker – und Pflazenbau und Bodenkund. – 1990. – Jq.34. – №1. – S. 25-33.
16. *Штангей И.Ф., Штангей А.И., Плотников А.Ф.* Опыт использования машин «Фрегат» в совхозе «Орлянский» // Гидротехника и мелиорация. – 1975. – № 10. – С.101-107.
17. *Barnet A.* Soil erodibilitj factors for selected soils in Georgia and South Carolina // Trans. ASAE. – 1968. – v.8. – №3. – P. 393- 395.

18. *Швебс Г.И.* Формирование водной эрозии стока наносов и их оценка. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 183 с.
19. *Исаев А.П.* Гидравлика дождевальных машин. – М.: Машиностроение, 1973. – 214 с.
20. *Абрамов Ф.Г.* Определение водопроницаемости почв при дождевании // Почвоведение. – 1954. – № 11. – С. 21-29.
21. *Поспелов А.М.* Структура дождя при искусственном дождевании сельскохозяйственных культур // Дождевание: Сб. науч. тр. / ВНИИГиМ, 1940. – т. 3. – С.117-186.
22. *Карпенко В.Д.* Влияние объемной массы почвы на эрозионно-допустимые нормы полива при дождевании // Освоение мелиорированных земель Сибири: Сб.науч.тр. / СибНИИГиМ. – Красноярск, 1981. – С.140-142
23. *Пожилков В.И., Щербина Л.И.* Пути повышения эффективного плодородия почвы в севооборотах Нижнего Поволжья // Севообороты в условиях орошения: Сб. науч. тр. / ВНИИОЗ. – Волгоград 1983. – С. 104-111.
24. *Химин Н.М.* Расчёт поливной нормы с учётом потенциала почвенной влаги // Мелиорация и водное хозяйство. – 1989. – №12. – С. 40-4.
25. *Заславский М.Н.* Эрозионоведение: Основы противоэрозионного земледелия. – М.: Высшая школа, 1987. – 376 с.
26. *Hudson N. W.* Erosion Control Research – Progress report on experiments at Henderson Research Station 1953 – 1956 // Rhodesian Agricultural Journal. – 1957. – №4. – P. 232-297.
27. *Dilliaha T.A., Rass B.B., Mostagnimi S.* Set imitation rain as means instruction for struggle with erosion soil // Journal of Soil Water Conservation.- 1988. – v. 43. – №6. – P. 10-16.
28. Design and operation of farm irrigation systems. Revised Printing / Ed. by M.E. Jensen // ASAE Monograph. - 1983. - №3. - 829 p.
29. Relation of the soil Properties to Its. Erodibility soil // Sci. Soc. Proc. – 1969. – № 33. – P. 131-137.
30. *Rouse E.* Use of the universal soil loss equation to predict erosion in West Africa. Soil Erosion Prediction and Control // Proceedings of the National Conference on Soil Erosion Soil Conservation Society of America, Ankeney, Iowa. – 1976. – P. 60-74.
31. *Ляшенко В.В.* Методика расчета бесстоковых норм при поливе дождеванием // Сб.науч.тр. / Волгоградский СХИ. – Волгоград, 1984. – Т. 84. – С. 103-105.
32. *Ерхов Н.С.* Энергетическое обоснование формулы для определения эрозионно-допустимых поливных норм при дождевании // Предотвращение эрозии почв Средней Сибири: Сб. науч. тр. / СибНИИГиМ. – Красноярск, 1982. – С. 34-42.
33. *Кузнецов П.И.* Исследование параметров структуры дождя и качества полива машин кругового действия в Волгоградском Заволжье: Автореф. дис. канд. техн. наук. 06.01.02 / НИМИ, Новочеркасск, 1983. – 20 с.

34. *Ерхов Н.С.* Концепция эрозионно-безопасной технологии дождевания // Мелиорация и водное хозяйство. – 1995. – № 4. – С. 20-21.

35. *Абрамов А.М., Ильин Н.И.* Определение поливных норм с учётом интенсивности дождя // Гидротехника и мелиорация. – 1985.- № 5. – С. 30-31.

36. *Ильин Н.И., Абрамов А.М., Бочков В.К.* Определение эрозионно-допустимых поливных норм при дождевании для почв центральных областей Нечерноземной зоны РСФСР // Вопросы проектирования оросительных систем. – М.: Колос, 1983 – С. 24-30.

37. *Поляков Ю.П., Менжинский В.И.* Закономерности развития эрозии почв при дождевании и некоторые приёмы её предотвращения // Сб. науч. тр./ ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1977. – Вып. 23. – С. 53-59.

38. *Ильин Н.И.* Об алгебраическом уравнении впитывания почвой дождевых осадков // Предотвращение эрозии почв Средней Сибири: Сб. науч. тр./ СибНИИГиМ. – Красноярск, 1982. – С. 51-55.

39. *Исаев А.П.* Оценка технологических возможностей дождевальных машин на основе определения допустимых норм полива // Улучшение эксплуатации оросительных систем и планировка орошаемых земель. – М.: Колос, 1982. – С. 67-78.

40. *Кузнецов М.С., Григорьев В.Я., Хан К.Ю.* Ирригационная эрозия почв и её предупреждение при поливах дождеванием. – М.: Наука, 1990. – 120 с.

41. *Erwards W.M.* Predicting tillage effects on infiltration // Predicting tillage Effects. – 1982. – P. 105-115.

42. Механизация полива: Справочник / Штепа Б.Г., Носенко В.Ф., Винникова Н.В. и др. – М.: Агропромиздат, 1990. – 336 с.

43. Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: Справочник / Под ред. Б.Б. Шумакова. – М.: Колос, 1999. – 432 с.

44. Проектирование оросительной сети с МДЭФ «Кубань-Л»: Пособие к СНиП 2.06.03-85 «Мелиоративные системы и сооружения» / Утв. в/о Союзводпроект. – М.: Союзгипроводхоз, 1986. – 66 с.

45. *Spomer R.C.* Consentrated flow erosion on conventional and conservation tilled watersheds // Paper Am. Soc. Agr. Eng. – St. Joseph Mich. – 1985. – 13 p.

46. *Leidner J.* Slittillage: permanent solution for compacteg soils // Progr. Farmer. – 1985. – v.10. -№3. – P. 84-85.

47. *Saxton K.E.* Stot mulch tillage for water management and reduced erosion // Crop Production with Conservation in the 80's. – 1981. – P.42-49.

48. Рекомендации по почвозащитному земледелию на склоновых землях Белорусской ССР. – М.: Россельхозиздат, 1984. – 70 с.

49. Почвозащитное земледелие на склоновых землях Нечерноземной зоны РСФСР / Рекомендации. – М.: Россельхозиздат, 1986. – 40 с.

50. *Багров М.Н., Иванов В.М., Иванова Л.В.* Сохранение и восстановление плодородия почв при строительной планировке орошаемых полей. – М.: Колос, 1981. – 142 с.

51. *Аникин А.А., Кочанов А.Б., Елютин С.Б.* Шире применять щелевание // Степные просторы. – 1984. – № 10. – С. 46.
52. Способ борьбы с водной эрозией почв: А.с. 211908 (СССР) МКИ А 01 В 13/16 / И.В. Тофан. – Опубл. в Бюл. – 1968. – № 33.
53. Способ щелевания почвы: А.с. 609498 (СССР) МКИ А 01 В 13/16 / Н.М. Ильинский. – Опубл. в Бюл. – 1978. – № 22.
54. Способ прокладки водопоглощающих щелей и устройства для его осуществления: А.с. № 946417 МКИ А 01 В 13/16 / В.Д. Шишкарёв, Ш.И. Брусиловский. – Опубл. в Бюл. – 1982. – № 30.
55. *Кыштымбаев К.К., Качибекоев У.Б.* Повышение эффективной водопроницаемости почв на посевах пропашных культур // Земледелие. – 1985. – № 3. – С. 46-48.
56. *Vepraskas M.* A method to estimate the probabilitie that subsouling will increase cropjield // Soil Science Societj of America Jornal. – 1988. – v.52. - №3. – P. 229-232.
57. *Казаков В.С.* Технология и механизация глубокого мелиоративного рыхления почв // Обзорная информация. – М.: ЦБНТИ МВХ СССР, 1981. – Вып. 16. – 32 с.
58. *Поляков Ю.П.* Приемы предупреждения ирригационной эрозии почв // Гидротехника и мелиорация. – 1977. – № 10. – С. 55-61.
59. *Мустафаев Х.М.* Зональные комплексы противоэрозионных мероприятий в Азербайджанской ССР // Защита почв от эрозии: НТБ / ВНИИЗЗПЭ. – Курск, 1977. – Вып. 3 (14). – С. 46-53.
60. *Заславский М.Н.* Эрозионоведение: Основы противоэрозионного земледелия. – М.: Высшая школа, 1987. – 376 с.
61. Состояние мелиораций сельскохозяйственных земель и пути выхода из кризиса / Под рук. А.В. Колганова, В.Н. Щедрина. – М.: ГУ ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2000. – 151 с.
62. *Исаев А.П.* Оценка технологических возможностей дождевальных машин на основе определения допустимых норм полива // Улучшение эксплуатации оросительных систем и планировка орошаемых земель. – М.: Колос, 1982. – С. 67-78.
63. *Mitchell J.* Low Water uptake a boggy wheel tracks // Irrigation Age. – 1983. – v.18. – №2. – P. 28.
64. *Митрюхин А.А.* Обоснование материалоемкости и энергоёмкости дождевальной фронтальной машины с подкачивающим модулем // Экологически и экономически обоснованные технологии и технические средства полива: Сб. науч. тр. / ВНИИГиМ. – М., 1989. – С. 18-23.
65. Конструктивно-технологические особенности дождевальной машины «Фрегат» для работы на повышенных уклонах // Экологически и экономически обоснованные технологии и технические средства полива: Сб. науч. тр. / ВНИИГиМ. – М., 1989. – С. 30-36.
66. *Сплинтер А.* Дождевание по кругу // Америка. – 1980. – № 5. – С. 9-14.

67. *Доспехов Б.А.* Методики полевого опыта. – Изд.3. – М.: Колос, 1973. – 336 с.
68. *Зеляковский В.Н.* Оптимальный режим эксплуатации ЭДМФ «Кубань» // Оптимизация водного режима почвы при программировании урожая в орошаемом земледелии: Сб. науч. тр. / ВНИИОЗ. – Волгоград, 1989. – С.171-175.
69. *Шигаев В.Н. Курбатов А.Л.* Исследование технологических схем полива ЭДМФ в Поволжье // Эксплуатация оросительных систем Поволжья: Сб. науч.тр. / ВНИИГиМ. – М., 1987. – С. 130-137.
70. *Суран В.А.* Проблемы эксплуатации оросительных систем // Мелиорация и водное хозяйство. – 1995. - № 1. – С. 10-12.
71. *Карева А.* Производительно использовать ДМ «Кубань» // Гидротехника и мелиорация. – 1985. – № 6. – С. 40-43.
72. *Кремнев Ю.А. Лямперт Г.П.* Современные задачи развития оросительной техники // Тракторы и сельхозмашины. – 1986. – № 12. – С. 11-14.
73. *Дружинин Н.И., Гордон Б.С.* Показатели качества полива и производительность дождевальной техники // Доклады ВАСХНИЛ. – 1985. – № 3. – С. 43-44.
74. *Taylor D.* Reduced Pressure Imitation Inverment Economies // Water Pesonries. – 1986. – v. 22. – №2. – P. 121-128.
75. *Коваленко П.И., Гринь Ю.И., Шевченко А.В.* Низконапорная модификация дождевальной машины «Фрегат». – Киев, 1986. – 4 с.
76. *Sonrell H.* Zeitgemusse Beregnung Verringerung des Wasser – und Energienaufwandes bei mobilen Beregnung maschinen // Landtechnik. – 1991. – v. 46. – № 5. – S. 209-219.
77. Руководство по проектированию и эксплуатации внутривозвращенной оросительной сети с применением низконапорных машин «Фрегат». РТМ 33.63-063-89. – Киев: МВХ УССР, 1989. – 58 с.
78. *Гаврилица А.О., Грек В.И., Пеньков М.С. и др.* Дождевание склоновых земель ЭДМФ «Кубань-ЛК1» // Мелиорация и водное хозяйство. – 1991. – № 4. – С. 27-30.
79. *Ольгаренко В.И., Ольгаренко Г.В.* Повышение экологической безопасности дождевальной техники // Вопросы мелиорации. – 2000. – № 3-4. – С.49-54.



## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение .....	3
1. Процесс взаимодействия дождя и почвы .....	3
2. Мероприятия по борьбе с ирригационной эрозией почв при дождевании .....	9
3. Особенности полива дождеванием .....	17
4. Снижение энергоёмкости полива дождеванием .....	22
5. Примеры расчётов некоторых параметров дождевальных машин .....	30
6. Конструкции дождевальных машин .....	41
7. Зарубежная дождевальная техника .....	46
7.1. Фирма RKD (Испания) .....	46
7.2. Фирма Valmont Irrigation (США) .....	57
7.3. Фирма WADE RAIN (США) .....	63
7.4. Фирма T-L IRRIGATION COMPANY (Канада) .....	64
Заключение .....	69
Литература .....	71

# **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГООПОРНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ МАШИН**

Научное издание

Б.П. Фокин, А.К. Носов

Технический редактор к.т.н. В.И. Деревягин

Подписано в печать 2011 г.  
Формат 60х84 1/8, усл. печ. лист 5,0  
Тираж 1000 экз.  
Заказ № 36

Отпечатано в типографии ООО «Семена» Севкавгипроводхоз»  
357500, г. Пятигорск, пр. Кирова, 78