

# **ОПЫТ СОЗДАНИЯ ДРЕНАЖНЫХ СИСТЕМ И ЭЛЕМЕНТЫ ИХ МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*Умаров П.Д*

*Тучин А.И.*

**НИЦ МКВК**

## **ВВЕДЕНИЕ**

Проблема рационального использования водных ресурсов требует изучения и учета особенностей взаимодействия между формирующими их естественными (приток и отток поверхностных и грунтовых вод, осадки и транспирация, испарение из зоны аэрации и с поверхности уровня грунтовых вод) и искусственными (орошение и дренаж) факторами.

Возможность управления искусственными факторами позволяет путем изменения объема дренажного стока и водоподачи регулировать уровень грунтовых вод, а следовательно, и воздействовать на размеры подземного притока и оттока и водопотребления. Исходя из этого, одним из направлений рационализации водопотребления и обеспечения экологической устойчивости в регионе является создание через управляемые факторы оптимальных мелиоративных режимов, обеспечивающих благоприятные для развития растений условия при минимальных затратах воды на единицу урожая.

Основные технические средства дренирования земель различаются прежде всего по типам их устройства: горизонтальный, вертикальный и комбинированный дренажи. По назначению и территориальному размещению: систематический (когда дренирующие сооружения размещаются равномерно по орошаемой площади) и выборный (когда дренирующие сооружения приурочены к отдельным площадям с неудовлетворительным мелиоративным состоянием). По продолжительности работы: постоянный (рассчитанный на весь период работы системы) и временный (рассчитанный на период промывных поливов на сильнозасоленных землях). По техническому состоянию: совершенный и несовершенный.

## **ТИПЫ ДРЕНАЖА И УСЛОВИЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**

Степень технического совершенства дренажных систем определяется ее способностью обеспечивать эффективное регулирование гидрогеолого - мелиоративных процессов при минимальных затратах на их строительство и эксплуатацию. Таким требованиям отвечают закрытые дренажные системы (рис.1) Открытой на этих системах выполняются только отводящая часть в виде коллекторов, транспортирующих дренажный сток, формируемый закрытой регулирующей сетью, в водоприемник.

Наиболее распространенными в нашем регионе является закрытый горизонтальный дренаж, представляющий собой перфорированный трубопровод (из керамических, пластмассовых, асбестоцементных или других труб диаметр которых 0,07-0,3 м) уложенный под грунт на глубину 2-4,0 м и окруженный защитно-фильтрующим слоем, преимущественно из естественных песчаных и песчано-гравийных материалов толщиной 0,15-0,18 м. В последнее время применялись искусственные защитно-фильтрующие материалы (синтетические волокна, нетканые, иглопробивные полотна), а также их комбинация с естественными фильтровыми смесями.

Поступление воды в дренаж происходит самотеком под действием напора, образованного за счет разницы в уровнях грунтовых вод на междренье и в полости

перфорированного трубопровода, выведенного в коллектор (обычно открытый). Для осуществления ремонтно-эксплуатационных работ на закрытой горизонтальной дрене предусматриваются необходимые сооружения (истоковые и смотровые колодцы, устья), выводимые на поверхность. Междреннее расстояние определяется гидрогеологическими и хозяйственными условиями, а так же конструктивными особенностями водоприемной части и при принятых для нашей зоны глубинах составляет не менее 50м.

Вертикальный дренаж представляет собой систему из буровой скважины с водоприёмной и водоотводящей частями, водоподъемным оборудованием; здания для станции управления контрольно-измерительной аппаратуры, средств автоматики и телемеханики; линий электропередач, трансформаторной подстанции, площадки и подъездных дорог. Скважины вертикального дренажа, выполняемые обычно диаметром 0,9-1,2 м, предназначаются для воздействия на верхний ярус подземных вод и поэтому бурятся глубиной до 50-100м. Водоприемная часть скважин размещается в хорошо проницаемых песчано-гравийных отложениях и оборудуется фильтровым каркасом, защищенным песчано-гравийной фильтровой обсыпкой. Водоподъемное оборудование размещается в эксплуатационной колонне труб, размещаемой над фильтровым каркасом.

В качестве эксплуатационной колонны обычно использовались стальные обсадные, тонкостенные сварные, полимерные и асбестоцементные трубы, диаметром до 0,4 м, а для фильтрового каркаса применялись перфорированные трубы из тех же материалов или фильтры заводского изготовления. Площадь обслуживания скважины зависит от гидрогеологических и хозяйственных условий и может достигать 100-150 га.

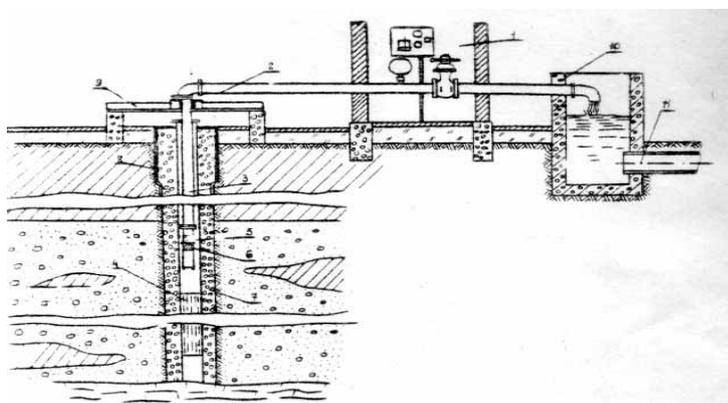
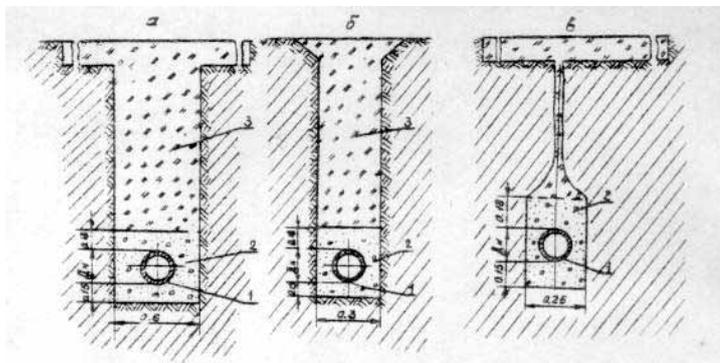
Комбинированный дренаж представляет собой систему из горизонтальных дрен (коллекторов), размещаемых в слабопроницаемом покровном мелкоземе, и вертикальных самоизливающихся скважин, установленных водоприемной частью в хорошо проницаемый подстилающий слой. На фоне такой системы возникающий при поливах напор, сопровождаемый подъем грунтовых вод, передается в нижний хорошо проницаемый слой и формирует приток к вертикальным скважинам и самоизлив в сеть горизонтального дренажа. Следовательно, самоизливающиеся скважины, размещаемые вдоль дрены, усиливая ее действие, соответственно позволяют значительно расширить междреннее расстояние.

Для повышения водозахватной способности скважины комбинированного дренажа (глубиной не более 30 м) бурятся диаметром 500 мм и обсаживаются пластмассовыми трубами диаметром 100 мм с перфорацией в нижней части, размещаемой в хорошопроницаемом подстилающем слое.

## СОВЕРШЕННЫЕ ТИПЫ ДРЕНАЖА

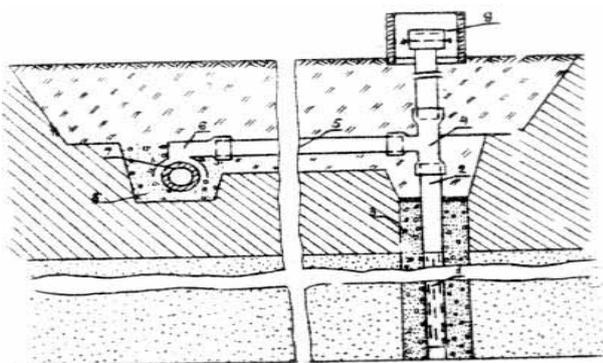
### Горизонтальный:

- а- траншейный;
- б- узкотраншейный;
- в- бестраншейный.
- 1 – перфорированная труба
- 2 – обсыпка песчано-гравийной смесью
- 3 – грунт обратной засыпки



### Вертикальный:

- 1 – здание управления;
- 2 – напорный трубопровод
- 3- эксплуатационная колонна;
- 4 - фильтровая колонна;
- 5 - насос;
- 6 – электродвигатель;
- 7 — гравийная обсыпка;
- 8 – кондуктор;
- 9 – опорная рама;
- 10 - водоприемный колодец;
- 11 - водосброс.



### Комбинированный:

- 1 – фильтровая колонна;
- 2 – водоподъемная колонна;
- 3 - фильтровая обсыпка скважины
- 4 - тройник;
- 5 – водоотводящая труба;
- 6 – бандаж с отводом;
- 7. - труба дрены;
- 8. -фильтровая обсыпка дрены;
- 9 – оголовок скважины.

В качестве фильтровой защиты используется песчано-гравийная смесь специального состава, засыпаемая в затрубное пространство между водоподъемной колонной и стенками скважины. Расстояние между скважинами, устраиваемыми вдоль дрен зависит от гидрогеологических условий и составляет 100-200 м.

Условия применения каждого из выше перечисленных типов дренажа устанавливаются прежде всего на основе анализа гидрогеологических особенностей конкретной территории. Для этой цели можно воспользоваться принятой у нас классификацией Д.М. Каца по степени естественной дренированности территории (табл.1).

В соответствии с этой классификацией горизонтальный дренаж перспективен в условиях преимущественно однослойного строения грунтов с коэффициентом фильтрации от 0,01 до 1м/сут и более при близком (до 5 м) залегании водоупора. Он эффективен также в условиях неоднородного строения грунтов с маломощными (3-4 м) покровными мелкоземами, когда появляется возможность вскрывать хорошо проницаемые подстилающие (песок, гравий, и т.д.) слои и укладывать в них горизонтальные дрены.

Вертикальный дренаж перспективен в условиях преимущественно неоднородного строения грунтов с мощными (15-45 м) покровными мелкоземами, подстилаемыми хорошо проницаемыми песчано-гравийными слоями мощностью более 5 м и водопроницаемостью более 100 м<sup>2</sup>/сут. Он может быть эффективен и при меньшей водопроницаемости в условиях слабой проницаемости (менее 0,1 м/сут) покровных мелкоземов или напорности подземных вод подстилающих слоев. Ограничения по мощности покровного мелкозема обусловлены тем, что при мощностях менее 15 м на фоне вертикального дренажа создается пространственная неравномерность по глубине залегания грунтовых вод, скорости их снижения и темпам рассоления почво-грунтов, а при мощностях более 45 м резко возрастает сопротивление покровного мелкозема и теряется гидравлическая связь грунтовых вод покровного мелкозема, с подземными водами подстилающих слоёв.

Комбинированный дренаж перспективен в условиях неоднородного строения грунтов, сложенных покровными слабопроницаемыми (0,01-0,5 м/сут) мелкоземами мощностью от 5 до 15 м и хорошо-проницаемыми напорными или безнапорными подстилающими слоями водопроницаемостью более 10 м<sup>2</sup>/сут. Неприменимость комбинированного дренажа в условиях маломощных покровных мелкоземов объясняется тем, что укладка его горизонтального элемента (глубиной 3-4 м) непосредственно в подстилающие хорошо проницаемые слои исключает необходимость устройства его вертикального элемента (скважин). При мощностях же мелкоземов более 15 м начинают возрастать его сопротивления и снижаться коэффициент перетекания. В условиях же слабой проницаемости покровных мелкоземов (менее 0,1 м/сут), когда дренирующей способностью горизонтальной сети можно пренебречь, её можно заменить неперфорированным 'глухим' водоводом, лишь транспортирующим дренажный сток, поступающий из самоизливающихся скважин комбинированного дренажа.

## **МЕТОДЫ УСТРОЙСТВА СОВЕРШЕННЫХ ТИПОВ ДРЕНАЖА**

Практически все применявшиеся в бывшем СССР методы строительства совершенных типов дренажа разрабатывались или проходили апробацию в Узбекистане на объектах освоения новых земель Голодной и Каршинской степей. Так, широкое производственное внедрение закрытого горизонтального дренажа, развернувшееся в Голодной степи с 1956 года, позволило полностью отработать технологию строительства, основанную на механизации всех основных операций. В соответствии с известными проработками (В.А. Духовный, Е.Д. Томин и др.) строительство закрытого горизонтального дренажа осуществляется в основном траншейным, узкотраншейным и бестраншейным способами.

Способ строительства зависит от положения грунтовых вод и глубины укладки дренажа, литологического строения и характеристики грунтов на этой глубине, и определяет выбор конструкции водоприемной части дрены. В свою очередь конструкции водоприемной части могут систематизироваться сочетанием трубчатой линии (скважностью до 0,3%) различающейся по видам и материалу труб (короткомерные из керамики, пористого бетона, асбестоцемента; длинномерные- гофрированные пластмассовые из полиэтилена, поливинилхлорида) их перфорации (зазоры в стыках между звеньями труб, отверстия в стенках) и многообразия фильтровой защиты, различающейся по происхождению материала (естественный из песчаной или песчано-гравийной смеси; искусственный из стеклохолста, синтетических волокон, нетканых иглопробивных полотен, комбинированный из искусственного материала и естественной смеси). При этом конструкция водоприемной части с фильтровой защитой из естественных обсыпок кондиционного состава, является наиболее перспективной, так как обеспечивает высокую водозахватную способность дрены и её надежную работу в любых гидрогеологических условиях. Состав фильтровой обсыпки подбирается в зависимости от механического состава, связанности и фильтрационных свойств дренируемого грунта. Подбор производится по критериям защиты дренируемого грунта от фильтрационных деформаций и недопущения просыпания и суффозии частиц фильтра через водоприемные отверстия в трубчатую линию. Причем, водопроницаемость подобранного фильтра должна быть выше водопроницаемости дренируемого грунта в 5-10 раз.

Независимо от способа строительства, технологический процесс состоит из следующих основных этапов:

подготовительный - вынос проекта в натуру, подготовка трассы дрены, комплектация объекта необходимыми материалами;

основной - рытье траншей или щелей, укладка дренажной линии;

вспомогательный - доставка стройматериалов и конструкций, их раскладка по трассе дрены;

заключительная - обратная засыпка траншеи или заделка щелей, установка сооружений и планировка трассы дрен.

В комплексе машин, используемых при механизированном строительстве, ведущей является дреноукладчик, который в зависимости от характера действия рабочего органа и параметров отрываемой траншеи (щели) может быть траншейным, узкотраншейным и бестраншейным (табл. 2.).

Траншейный и узкотраншейный способы применяются в условиях устойчивых грунтов, способных обеспечить вертикальность стенок, отрываемой траншеи. Причем если первый способ применим только при глубине грунтовых вод ниже дна отрываемой траншеи, то возможности второго шире и он может применяться и при глубине грунтовых вод на уровне или даже выше (до 0,5 м) отметки заложения водоприемной части дрены.

Бестраншейный способ применим в условиях любых, как устойчивых, так и неустойчивых грунтов, но в основном предназначается для укладки дренажа при близком, насколько позволяют условия проходимости механизмов, уровне залегания грунтовых вод.

Таблица 1 Типы гидрогеологических условий орошаемых районов (по Д.М. Кацу) и выбор типов дренажа

Типы гидрогеологических условий	Геоморфологический тип	Козф. фильтрации покрова ного слоя, м/сут	Толщина покровного слоя м	Водо проводимость плас та 2 м/с	Минерал гр. вод	Напорности вод	Засоленость почв	Рекомендуем. Тип дренажа
1	2	3	4	5	6	7	8	9
А. Интенсивно-дренированные земли при однослойном строении пласта	Горные склоны расчлененные предгорные долины, верхние глубоко расчлененные аллювиальные террасы верхние привершинные части конусов выноса	1						
Б. Дренированные земли, двухслойная среда	Нижние и средние аллювиальные галечниковые террасы	0,5	3-4	500	-	+	-	Выборочный горизонтальный или комбинированный
	Верхние части суб азральных дельт	0,1-0,5	4-5	200 500	-	-	-	Комбинированный горизонтальный
		0,5-1,0	8-10	500	-	+	-	
В. Слабодренированные земли .								
Г. Дренирование земли с двухслойной схемой строения пласта	Несовершенные конусы выноса, междур-ные впадины.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Д. Слабодрендрованные земли при двухслойном строении пласта	Нижние и средние аллювиальные террасы в межгорных впадинах и на равнинах	0,5-1,0	8-10	500	+	-	-	Горизонтальный комбинированный
Е. Слабодрендрованные земли при двухслойном строении пласта	Субазральные дельты рек на платформах и широкие аллювиальные террасы	0,1-1,5	10-20	200-500	+ -	+ -	+ -	Комбинированный вертикальный
Ж. Слабо и весьма слабодрендрованные земли при многослойном строении пласта	Зона выклинивания грунтовых вод	0,1-0,7	15-20	200-500	+ -	+	+	Вертикальный горизонтальный
З. Бессточные земли при двухслойном строении пласта	Древние и современные аллювиальные дельты	0,1-0,5	5-7	100-500	+	-	+ -	Комбинированный
И. Бессточные земли при однослойном строении пласта	Водораздельные массивы на платформах, широкие аллювиальные террасы	0,1-0,5		100	+	+ -	+	Горизонтальный
К. Бессточные земли в сложных геохимических условиях	Дельты рек в межгорных низменностях	0,5-1,0		100-200	+	+	+	Горизонтальный
Л. Бессточные земли при однослойном строении пласта	Дедукционно-аккумулятивные равнины, предгорные аллювиально-пролювиальные равнины	0,01-0,1		100	+	+	+	Горизонтальный

М. Весьма слабо дренированные и бесточные земли при двухслойном строении пласта	Зоны выклинивания района со сложными геохимическими условиями	0,1-0,5	10-20	100-200	+	+ -	+	Вертикальный комбинированный
Н. Бессточные земли при двухслойном и многослойном строении пласта	Зоны выклинивания районы со сложными геохимическими условиями	0,2-0,7	10	100	+	-	+	Горизонтальный комбинированный

Таблица 2

Наименование показателей	Типы Дреноукладчиков								
	траншейный		узкотраншейный					бестраншейный	
	ЭД-3, ОА	ЭТЦ-406	ЭТЦ-406А	ДУ-251	ДУ-301	ДУ-35-02	ДТП-4,0	МД-13	ДБ-251
Параметры траншеи: Ширина, м Глубина, м	0,6 3,0	0,6 4,0	0,3 4,5	0,3 2,5	0,3 3,0	0,35 2,5-3,5	0,30 2,5-4,0	0,2 3,0	0,25 2,5
Укладываемые трубы: тип Наружний диаметр, м	Керам. 0,13-0,3	Керам 0,13-0,3	Пласт. 0,09-0,2	Пласт. 0,075- 0,15	Пласт. 0,075-0,15	Пласт. 0,09-0,2	Пласт. 0,075-0,150	Пласт. 0,11	Пласт. 0,075-0,150
Вид фильтровой защиты	песок	песок	песок	Песок иск.мат	песок	Песок иск.мат	песок	Песок иск.мат	песок
Тип роющего органа	Цепной с ковш.	Цепной скребковый	Цепной с резцами	Цепной с ковш.	Цепной с ковш.	Цепной с резцами	Цепной скребковый	Пассивный нож	Пассивный нож
Способ выдерживания уклона	Планир. трассы	полуавтомат	автомат	Планир. трассы	Планир. трассы	автомат	автомат	автомат	Планир. трассы
Техническая производительность , м.ч	До 130	До 150	До 200	До 150	До 150	До 300	До 100	До 500	До 1000
Условия работ: - уровень гр-ых вод	низкий	Низкий	Высокий	Низкий	Низкий	Средний	Низкий	Высокий	Высокий

Наименование показателей	Типы Дреноукладчиков								
	траншейный		узкотраншейный					бестраншейный	
	ЭД-3, ОА	ЭТЦ-406	ЭТЦ-406А	ДУ-251	ДУ-301	ДУ-35-02	ДТП-4,0	МД-13	ДБ-251
- категория прочности грунта	I-III	I-III	I-III	I-IV	I-III	I-II	I-IV	I-III	I-III
- Масса, т	21	42,8	40	24	24,5	24	32,5	61	110,5
Обслуживающий персонал	3	3	4	2	2	2	2	2	5

Принцип работы траншейных и узкотраншейных дренаукладчиков, с рабочим органом активного действия, состоит в одновременной и непрерывной отрывке траншеи, укладке дрены, начиная от устья до её истока. Принцип же работы бестраншейных дренаукладчиков с рабочим органом пассивного действия, отличается лишь тем, что грунт не разрабатывается и вместо траншеи прорезается щель необходимой глубины, куда укладывается водоприемная часть дрены.

При траншейном способе строительства применялись дренаукладчики ЭД-3,ОА и ЭТЦ-406 с подачей в сухую траншею керамических гончарных раструбных труб в круговой песчаной обсыпке.

Дренаукладчик ЭД-3,ОА работает с постоянной глубиной копания 3 м, обеспечивая необходимый уклон дрены (не менее 0,001) продвижением по заранее спланированной под заданный уклон трассе. Для укладки дрены на большую глубину, планируемая трасса углубляется на соответствующую величину. В то же время для дренаукладчика ЭТЦ-406 такой необходимости нет, так как он снабжен полуавтоматической системой выдерживания заданного уклона по копирному троссу и может вести бесступенчатое регулирование глубины укладки дренажа до 4,0 м.

При узкотраншейном способе строительства дренаукладчиками ЭТЦ-406А, ДУ-251, ДУ-301, ДУ-35 02, ДТП-4,0 применяются гофрированные пластмассовые трубы с фильтром из песчаной смеси кондиционного состава или комбинированным с песчаной смесью некондиционного состава и искусственным рулонным материалом.

Применение фильтров только из искусственных рулонных материалов допустимо лишь при укладке дрен в сухие грунты с коэффициентом фильтрации более 0.3 м/сут, так как при работе в водонасыщенных разжиженных грунтах происходит их кольматация, а в грунтах с меньшей водопроницаемостью снижается водозахватная способность дрен.

При бестраншейном способе строительства применялись дренаукладчики МД-13 и ДБ-251 с подачей в щель пластмассовых труб с песчаным или комбинированный фильтром. Если применение последнего дренаукладчика требует точной планировки трассы под уклон дрены, то применение первого, снабженного автоматической системой выдерживания заданного уклона по лазерному лучу, исключает необходимость а этих работах.

Широкое производственное внедрение вертикального дренажа в Узбекистане началось с конца 50-х годов.

Накопленный опыт (М. Решеткина, Х.И. Якубов) убедительно доказывает высокую эффективность строительства скважин большего диаметра с мощной песчано-гравийной фильтровой обсыпкой, обеспечивающей не только повышение водозахватной способности скважин, но и увеличение срока её безотказной работы.

Процесс строительства высокодебитных скважин вертикального дренажа включает в себя работы по бурению скважины, обсадке фильтровой и эксплуатационной колонн, обсыпке песчано-гравийной фильтровой смеси, строительной откачке.

Наиболее перспективным в строительстве вертикального дренажа оказалось бурение скважин роторно-вращательными способами, позволяющими резко повысить скорость проходки и увеличить диаметры бурения до 1200 мм. Бурение этими способами может проводиться методами прямой или обратной промывки.

Обсадку скважины трубчатой (диаметром до 0,4 м) колонной начинают со спуска её фильтровой части с целевой перфорацией при скважинности 20-25%. Проводят обсадку путем постепенного наращивания трубчатой колонны до упора в забой скважины на проектную глубину.

Обсыпку фильтровой части трубчатой колонны производят песчано-гравийной фильтровой смесью специально подбираемого, в зависимости от характера грунта водоносного пласта, состава с крупностью фракций до 10 мм при контакте с песками мелкозернистыми, до 20 мм - со среднезернистыми и до 30 мм - крупнозернистыми. При этом, в соответствии с проработками САНИИРИ, соотношение средних диаметров частиц

фильтровой смеси и грунта водоносного пласта, выражаемое межслойным коэффициентом  $\xi = D_{50}/d_{50}$  должно составлять при контакте с песками мелкозернистыми - 15-20, среднезернистыми - 20-25, крупнозернистыми - 25-30. Коэффициент неоднородности фильтровой смеси, выражаемый соотношением диаметров частиц, содержащихся в ее составе менее 60% и менее 10% должен составлять  $\eta = D_{60}/D_{10} = 5-10$

Строительная откачка, выполняемая обычно эрлифтной установкой и проводимая сразу же вслед за обсыпкой, является завершающим этапом устройства водоприемной части высокодебитных скважин. Формирование при этом устойчивого песчано-гравийного фильтра происходит за счет того, что в период строительной откачки наряду с очисткой полости скважины, из обсыпки и водоносного пласта через поры фильтра и отверстия каркаса выносятся мелкие частицы, а более крупные отлагаются на его внешней поверхности, создавая крупнопористый фильтр с очень малыми гидравлическими сопротивлениями.

При устройстве водоприемной части в мелкозернистых песках во избежание длительного пескования строительную откачку начинают с малых расходов постепенно переходя на большие. При устройстве же водоприемной части в крупнозернистых песках, напротив откачку начинают с максимальных расходов, способствующих усиленному выносу мелких частиц и повышению проницаемости прифильтровой зоны. В любом случае откачка ведется до осветления откачиваемой воды и прекращения выноса механических примесей.

После завершения строительной откачки в эксплуатационную колонну устанавливается погружной электронасос типа ЭЦВ, соответствующий производительности скважины вертикального дренажа.

Строительство системы завершается подключением насоса к станции управления, размещаемой в закрытом помещении при скважине.

Производственное внедрение комбинированного дренажа, впервые в отечественной практике, началось в 1980 году на объектах Каршинской степи. Этому предшествовали широкие опытно-производственные исследования САНИИРИ, позволившие разработать принципы проектирования и технологию строительства комбинированного дренажа.

Основным конструктивным элементом комбинированного дренажа являются самоизливающиеся скважины повышенной водозахватной способности. Они представляют собой буровые скважины диаметром 0,5 м, обсаженные пластмассовыми или асбестоцементными трубами диаметром 0,1-0,125 м. Водоприемная часть длиной не более 10 м оборудуется щелевой перфорацией со скважностью 3-6% и защищается песчано-гравийным фильтром. Подбор фильтровой обсыпки осуществляется по аналогии с вертикальным дренажом по соотношению средних диаметров частиц фильтровой смеси и дренируемого грунта, выражаемому через межслойный коэффициент  $\xi = D_{50}/d_{50}$ . Однако, как показали наблюдения, особенности работы скважин комбинированного дренажа (небольшие значения скоростей, градиентов и удельных дебитов) позволяют снизить требования, предъявляемые к фильтрам вертикального дренажа и рекомендовать величины межслойных коэффициентов  $\xi = 30-35$  - для крупнозернистых водоносных песков,  $\xi = 25-30$  - для среднезернистых и  $\xi = 20-25$  - для мелкозернистых при коэффициенте неоднородности фильтровой обсыпки  $\eta = 2-5$ . При этом если минимальные размеры частиц фильтровой обсыпки, обеспечивающие устойчивое сводообразование у перфорационных щелей, длиной 100 мм и шириной 3-4 мм, составляет  $D_{\min} = 1,8$  мм, то максимальные  $D_{\max}$  принимаются для мелкозернистых водоносных грунтов в пределах 10-20мм, среднезернистых 20-30 и крупнозернистых 30-40.

Такая конструкция скважин при бурении без применения глинистого раствора с последующей обсадкой, обсыпкой и незамедлительной откачкой, выполняемых в едином технологическом цикле с подключением усилителей к горизонтальной сети, обеспечивают значительное повышение водозахватной способности комбинированного дренажа.

Весь технологический процесс строительства комбинированного дренажа включает следующие виды работ:

буровые - подготовительная работа, бурение, спуск фильтровой колонны, засыпка гравийно-песчаной смеси в затрубное пространство и строительная откачка;

земляные - рытье котлована подключения водоприемных элементов, ручная доработка, подготовка мест соединения, разбор фильтровой обсыпки и обратная присыпка грунта;

монтажные - сборка узлов сопряжения вертикальной водоподъемной трубы с водоотводящей трубой и горизонтальной дренажной.

Так как бурение без глинистого раствора методом обратной промывки, наиболее перспективное для скважин вертикального дренажа, из-за ряда организационно-технических сложностей (необходимость устройства бассейна с большим и постоянным объемом воды; возможность прорыва воды в закрытые дренажи при размещении на них скважин и т.д.) оказалось технологически неприемлемым при устройстве скважин комбинированного дренажа, характеризующихся небольшой глубиной и частым размещением, рекомендуется метод прямой промывки с помощью бурового агрегата типа УРБ-ЗАМ.

При этом небольшие размеры усилителей и меньшая продолжительность их устройства позволяют осуществлять бурение чистой водой, обеспечивая устойчивость стенок скважины разжиженным раствором, образуемым при проходке покровного мелкозема. Строительная откачка в этом случае выполняемая вслед за обсадкой и обсыпкой, предназначена не для разглинизации, а лишь для формирования устойчивого фильтра, обладающего минимальными сопротивлениями.

Подключение самоизливающихся скважин требует непрерывности и высокой оперативности в производстве работ, что обеспечивается простотой конструкций соединительных узлов (см. рис. 1), изготавливаемых из пластмассовых труб.

Большим достоинством рекомендуемых конструкций подключения является то, что они позволяют контролировать работоспособность скважин при их приемке и эксплуатации, обеспечивают надежность комбинированного дренажа и его ремонтпригодность.

Сравнительная эффективность различных типов дренажа, рассчитанная для создания одинаковой дренированности территории, приведена в таблице 3.

Хотя методика выбора типов и расчета конструктивно-технологических параметров совершенных типов дренажа достаточно хорошо отработано, тем не менее она не позволяет учесть многофакторные условия функционирования этих систем при решении задач перспективного планирования дренажных мероприятий на орошаемых землях, что делает необходимым разработку специальной математической модели для этих целей.

**Таблица 3 Сравнительная эффективность различных типов дренажа, рассчитанная для создания одинаковой дренированности территории**

Показатели	Ед.изм.	Тип дренажа			
		Открытый	Закрытый	Вертикальный	Комбинированный
Коэффициент земельного использования (КЗИ)	%	87-90	95-96	98-99	96-97
Увеличение орошаемой площади за счёт повышения КЗИ	%	-	7-8	10-12	8-9
Диапазон регулирования уровня грунтовых вод <sup>х)</sup>	м	1,5-2,0	2,0-2,4	2,0-5,0	2,0-2,5
Продолжительность мелиоративного периода <sup>х)</sup>	годы	15-20	5-8	3-4	4-6
Ускорение темпов рассоления почвогрунтов за счет создания оптимального мелиоративного режима (увеличения свободной емкости почвогрунтов)	раз	1,0	1-25-1,3	1,5-2,0	1,5-2,0
Экономия воды за счет создания лучшего мелиоративного режима ускорения темпа рассоления	%	-	12-25	25-40	25-30
Экономия оросительной воды за счет ликвидации поверхностного сброса	%	-	10	15-20	10-15
Затраты на:					
строительство	руб/га	100	450-500	100-150	170-200
эксплуатацию	“	15-20	15-20	20-50	10-15
<sup>х)</sup> За счет обеспечения стабильной глубины дренажа, предотвращения поверхностного сброса и увеличения скорости снижения грунтовых вод.					

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ДРЕНАЖНЫХ СИСТЕМ

В качестве обобщенного показателя функционирования коллекторно-дренажной сети принят – дренажный модуль (литр/ (сек.×га)) и капиталоемкость (\$/га), а в качестве обобщенного параметра внешнего влияния на характеристики дренажа: время(год), приведенные затраты (\$/га) и инвестиции (\$/га). Формальное описание функционирования коллекторно-дренажной сети включает определение основных показателей:

А)  $c_d$  - Капиталоемкость коллекторно-дренажной сети (\$/га);

$$c_d = C_d/H_d; \quad H_d \subset H_j; \quad (1)$$

$C_d$  - полная стоимость коллекторно-дренажной сети,

$H_d$  - площадь дренирования в пределах площади орошаемой территории,

$H_j$  - площадь орошаемой территории.

В)  $c_d^s$  – Эксплуатационные затраты, доля капиталоемкости, выделяемая ежегодно для поддержания функциональной способности коллекторно-дренажной сети на постоянном уровне (\$/га×year);

С)  $c_d^I$  – Инвестиции, средства ежегодно выделяемые на развитие и реконструкцию коллекторно-дренажной сети, увеличивают капиталоемкость (\$/га×year);

Д)  $q_d$  – дренажный модуль (л/(сек.×га));

Для получения уравнений связи между этими показателями, рассмотрим произвольную площадь  $H$ , частично или полностью покрытую коллекторно-дренажной сетью, с различными значениями глубины заложения дрен и расстояния между ними. Далее, выделенную площадь, разобьем на  $d$  - элементов по принципу однородности дренирования и сформируем упорядоченное множество  $\{0, 1, 2, \dots, D\}$ , состоящее из пар  $\{h_d, q_d^p\}$ ,  $d \in \{D\}$ , где  $|D|$  равно количеству дренажных и коллекторных систем на рассматриваемой площади. Где  $h_d$  и  $q_d^p$  – площадь и дренажный модуль  $d$ -ой дренажной системы соответственно, под индекс «0» попадает вся площадь, где дренаж отсутствует. Назначение коллекторам самостоятельного индекса связано с тем, что скорость изменения их работоспособности практически не связана с конструкцией и работоспособностью дренажа и определяется в основном типами грунтов, где они проложены. В данном контексте под  $q_d^p$ , подразумевается технологическая характеристика  $d$ -ой дренажной системы, которая предполагает способность системы выполнять дренирование в объеме не менее  $q_d^p$ , при уровне грунтовых вод соответствующем объемам подачи водных ресурсов для выращиваемых на данной площади соответствующих сельскохозяйственных культур в вегетационный и не вегетационный периоды. Уравнения связи для показателей следующие:

$$q_d = q_d(c_d, j); \quad c_d^s = c_d^s(c_d, j) \quad (2)$$

Причем, в отличие от оросительных систем, функция  $q_d = q_d(c_d, j)$  не ограничена сверху, т.е.  $c_d \Rightarrow \infty$ ,  $q_d \Rightarrow \infty$ . Условие выполнения дренирования можно записать в виде:

$$q_d(t) \geq q_d^{pr}(t); \quad h^{gr}(t) \geq h^{gr,pr}(t), \quad \forall t \in \{t^V, t^{\neg V}\} \quad (3)$$

где:  $t^V$  и  $t^{\neg V}$  – вегетационный и не вегетационный периоды,  $q_d^{pr}(t)$  и  $h^{gr,pr}(t)$  – требования к дренажу со стороны поля в части отводимого расхода и глубины залегания грунтовых вод,  $h^{gr}(t)$  – фактическая глубина залегания грунтовых вод. Изменение величины  $q_d$  зависит от целого ряда факторов, например таких как: заиливание фильтров и труб, закупорка колодцев, разрушение стыков и т.п., но все эти факторы приводят к понижению значения  $q_d(t)$  и требуют определенных затрат для восстановления работоспособности дренажа. Дальнейшее описание динамики функционирования коллекторно-дренажной сети основывается на известном законе о распределении отказов в системах, состоящих из большого количества однородных не связанных между собой элементов с произвольной внутренней структурой. Этот закон утверждает, что в процессе функционирования  $N$ - не

связанных элементов ( $N$  – достаточно большое число), количество вышедших из строя элементов прямо пропорционально их общему количеству и не зависит от времени, т.е. количество вышедших из строя элементов =  $\lambda \times N$ , где  $\lambda$  - некоторая постоянная, характеризующая конкретную систему. Экспериментально установлено, что характер отказов в дренажных системах зависит лишь от типа и системы и внешних условий (строительство, эксплуатация). Это дает возможность процесс изменения работоспособности дренажа во времени, записать в виде:

$$\frac{dq_d^p}{dt} = -\lambda_d \times q_d^p + f_d^q(C_d) \quad (3)$$

где:  $\lambda_d$ - постоянная, характеризующая скорость снижения работоспособности дренажа.

$f_d^q(C_d)$  - функция, определяющая скорость восстановления работоспособности дренажа в зависимости от затрат  $C$  для дренажной системы  $d$ -го вида.

Числовые значения  $\lambda_d$  получают экспериментальным путем и пояснений не требуют, относительно функции  $f_d^q(C_d)$  обычно известны два значения  $f_d^q(0) = 0$ , и  $f_d^q(C_d^{\max}) = q_d^p$ , где  $C_d^{\max}$ - капитальные вложения для создания этой системы. Для построения кривой необходимы как минимум три точки, две – известны, для нахождения третьей воспользуемся следующим приемом: рассмотрим стационарное состояние коллекторно-дренажной системы, т.е. положим  $dq_d^p/dt = 0$ , из уравнения (3) получим:

$$\lambda_d \times q_d^p = f_d^q(C_d) \quad (4)$$

стоимость удовлетворяющая условию (4) известна под названием эксплуатационные затраты, обозначив их как:  $C_d^0$ - эксплуатационные затраты, и подставляя значение этих затрат в выражение (4) получим недостающую третью точку для построения функции  $f_d^q(C_d)$ . Прежде чем переходить к числовым значениям параметров сформулируем вид функции  $f(C)$ . Для этого заметим, что предельное значение  $q_d^p$ , достигаемое при  $C_d^{\max}$ , равно проектному значению, т.е.  $q_d^{p,\max} = q_d^{p,0}$ - проектное значение дренажного модуля. Следовательно, любые вложения средств, в пределах  $C_d \in \{0; C_d^{\max}\}$  не могут увеличить  $q_d^p$  выше  $q_d^{p,0}$ , не зависимо от фактического значения  $q_d^p$  в момент вложения этих средств. Математически это условие записывается следующим образом:

$$\frac{\partial f_d^p(t, C)}{\partial C(t)} = 0, \quad | \quad q_d^p(t) = q_d^{p,0}, \quad \forall t \in \{t^V, t^{\Gamma V}\} \quad (5)$$

Таким образом, для построения  $f(C)$  имеется следующий набор условий:

$$\begin{aligned} f(0) &= 0 \\ f(C^0) &= \lambda \times q \\ f(C^{\max}) &= q^0 \\ \frac{\partial f(t, C)}{\partial C(t)} &= 0, \quad | \quad C = C^{\max}, \quad \forall t \in \{t^V, t^{\Gamma V}\} \end{aligned} \quad (6)$$

Функцию, удовлетворяющую условиям (5) можно записать в виде:

$$f(C(t)) = q^0 \times \{1 - \text{EXP}[-m \times C(t) / (C^{\max} - C(t))^2]\} \quad (7)$$

где :

$$m = \frac{(C^{\max} - C^0)^2}{C^0} \ln\left(\frac{q^0}{q^0 - \lambda \times q}\right) \quad (8)$$

Следующим этапом формализации является увязка изменения работоспособности дренажа во времени с функцией изменения капиталоемкости системы в зависимости от условий эксплуатации и затрат, включая процесс реконструкции и развития коллекторно-дренажных систем, под воздействием инвестиций. В качестве базовой формулы, связывающей технологические параметры коллекторно-дренажной сети со значением дренажного модуля, примем, согласно рекомендациям ВТР II 8-76, формулу Аверьянова С.Ф., которая для случая расположения дрен на водоупоре ( $L=0$ ), переходит в формулу Ротэ.

$$q_d = \frac{4\alpha K h^2}{E^2} \left(1 + \frac{2L}{h}\right); \quad \alpha = 1 / \left[1 + 2.94 \times \frac{2L}{E} \times \lg\left(1 / \sin\left(\frac{\pi d}{2L}\right)\right)\right]; \quad (9)$$

где:  $h$  - напор над дренажной (м),  $E$  - расстояние между дренажами (м),  $K$  - приведенный коэффициент фильтрации слоя, толщиной  $= L + h_d$  (м/сут.),  $L$  - расстояние от дренажа до водоупора (м),  $h_d$  - глубина заложения дренажа (м),  $d$  - расчетный диаметр дренажа, равный диаметру фильтрующей отсыпки. Дальнейшие преобразования формулы (9) преследуют цель разделения технологических и водохозяйственных параметров. Для этого заметим, что напор над дренажной представляет собой разницу между глубиной заложения дренажа и глубиной залегания грунтовых вод, т.е.  $h = h_d - h^{gr}$ , кроме этого введем безразмерную переменную  $\xi$ , которую определим следующим образом:

$$\xi = h / h_d = 1 - h^{gr} / h_d; \quad 0 \leq \xi \leq 1; \quad (10)$$

Подставляя  $\xi$  в формулу (9) перепишем ее в виде:

$$q_d = \left[ \frac{4\alpha K h_d^2}{E^2} \right] \times \left[ \xi \times \left( \xi + \frac{2L}{h_d} \right) \right]; \quad (11)$$

Выражение, стоящее в первых квадратных скобках, отражает комплекс технологических составляющих коллекторно-дренажной сети, не зависящий от водохозяйственных условий, а во вторых квадратных скобках - параметры конкретной водохозяйственной обстановки. Качественные изменения, происходящие в составляющих коллекторно-дренажной сети в процессе эксплуатации, описываются целиком выражением в первой квадратной скобке (11), которое, в многолетнем разрезе, обозначим через  $\phi (c_d(t))$  и будем называть медленной составляющей, интервал исследований равен одному году. Вторую скобку оставим без изменений и свяжем ее с быстрой составляющей, описывающей динамику водохозяйственной обстановки в годовом разрезе, интервал исследований один месяц (декада). Переменная  $c_d(t)$ , функции  $\phi (c_d(t))$  отражает динамику капиталоемкости коллекторно-дренажной сети в многолетнем разрезе, уравнение которой, с учетом анализа при составлении уравнения (3), можно записать в виде:

$$\frac{dc_d(t)}{dt} = -\lambda_d \times c_d(t) + c_d^s(t) + c_d^I(t); \quad \lambda_d = c_d^s(0) / c_d(0); \quad \forall t \in \{T\}; \quad (12)$$

здесь:  $c_d^s(t)$ ,  $c_d^I(t)$  - фактические эксплуатационные затраты и инвестиции, соответственно,  $c_d^s(0)$ ,  $c_d(0)$  - состояние системы в начальный момент времени.

Общий интеграл уравнения (12) имеет вид:

$$c_d(t) = \int_0^t \exp[-\lambda_d \times (t - \tau)] \times (c_d^s(\tau) + c_d^I(\tau)) d\tau \quad (13)$$

Подставляя в (13) конкретные функции эксплуатационных затрат " $c_d^s(t)$ " и инвестиций " $c_d^I(t)$ ", получим, динамику развития капиталоемкости коллекторно-дренажной сети во времени. Следующим этапом является построение функции  $\phi (c_d(t), j)$ ;  $j$  - конкретная зона дренирования. Во первых, заметим, что функция  $\phi (c_d(t), j)$  является монотонно возрастающей по  $c_d(t)$ , где параметр " $j$ ", характеризует лишь гидрогеологические условия, окружающие конкретную коллекторно-дренажную сеть. Следовательно, вид функции  $\phi$  определяется, в основном, зависимостью от  $c_d(t)$ , а " $j$ " - участвует только при уточнении постоянных. Поэтому, примем за нулевую точку проектное значение  $\phi$ , и примем влияние затрат в окрестности норматива линейным, тогда для замыкания модели функционирования коллекторно-дренажной сети получим условие:

$$\phi (c_d(t)) = \phi_j (c_d(0)) \times c_d(t) / c_d(0); \quad c_d(t) \geq 0, \quad \forall t \in \{T\}; \quad (14)$$

Таким образом, динамика капиталоемкости коллекторно-дренажной сети в многолетнем разрезе, описывается уравнениями (13), (14), а значения дренажного модуля вычисляются по уравнениям (9), (11) с привлечением параметров, отражающих конкретную водохозяйственную обстановку. Заметим, что выражение (14) является обобщенным по отношению к условиям изменения работоспособности дренажа. Эти изменения работоспособности дренажа могут возникнуть как за счет заиливания дренажа, так и за счет изменения глубины в коллекторе - водоприемнике  $\Delta h_k$ . В этом случае основной

является задача в определениях изменения функции  $\Delta h_k$  в зависимости от эксплуатационных затрат по коллекторам и от  $\phi(c_d)$  – затрат по дренажу, однако подобная детализация инженерных проблем на уровне перспективного планирования практически невозможна. Поэтому на данном уровне исследований для принятия решений будем пользоваться обобщенными значениями  $\phi(c_d(t))$ , полагая, что конкретные инженерные решения будут выполнены на проектных стадиях.

Для определения полного водно-солевого обмена между зоной аэрации и областью грунтовых вод, необходимо решить задачу водно-солевого обмена для отдельно взятой вертикальной колонны, а затем выполнить интегрирование потоков по поверхности Зоны орошения. Поскольку в данной постановке наименьшей единицей различимой площади является площадь, занятая сельскохозяйственной культурой, можно принять, что в пределах этой площади физико-механический состав грунта одинаков, кроме этого одинаковы и условия орошения. В этом случае потоки между полем и дренажом для любого момента времени будут функциями только “h” и “r”, полагая, что все культуры равномерно распределены относительно глубины залегания грунтовых вод, получим выражение для  $Q^{ar}(t)$ , используемое в балансе дренажного стока.

$$Q^{ar}(t) = \sum_{r \in \{R\}} \int_{H_R} q^{ar}(r, h(H), t) dH; \quad \forall \xi^h(h, t), t \in \{t\}; \quad (15)$$

При аналогичных допущениях получим выражение и для потока соли:

$$Q^{s,ar}(t) = \sum_{r \in \{R\}} \int_{H_R} q^{s,ar}(r, h(H), t) dH; \quad \forall \xi^h(h, t), t \in \{t\}; \quad (16)$$

Выражения (15), (16) являются основными при расчетах водно-солевой динамики орошаемой территории, поскольку они сохраняют смысл, как при замене задачи водно-солевого баланса более простыми формулами, применяемыми в инженерных расчетах, так и при использовании более точных моделей, в этом случае размер контура осреднения уменьшается, а количество контуров увеличивается.

Орошаемая территория представляет собой объект, в пределах которого, выполняется увязка всех водохозяйственных составляющих - параметров систем орошения, дренирования и формирования урожайности. Формальное описание территории орошения основывается на представлении этой поверхности, в виде однородного, в статистическом смысле, участка площадью “H”, который характеризуется тремя функциями распределения:

- a) степень засоленности почвы,
- b) глубина залегания грунтовых вод;

Каждая функция задается дискретно, с помощью векторов, отражающих, плотность распределения значений соответствующего параметра, по площади поверхности территории орошения  $\xi^s(s)$ ,  $\xi^h(h)$ . Таким образом, *состояние* территории орошения определяется значениями двух векторов распределения:  $\xi^s(s)$ ,  $\xi^h(h)$ , а под *траекторией* территории орошения, понимается, изменение этих векторов во времени. Компоненты этих векторов подчиняются условиям нормировки, т.е.

$$\sum_{s \in \{s\}} \xi_s(s, t) = \sum_{h \in \{h\}} \xi_h(h, t) = 1, \quad \forall t \in \{T\}; \quad (17)$$

Определяя каждую функцию переменных, как вектор строку, получим средневзвешенные значения рассматриваемых параметров на площади “H” в виде скалярного произведения их переменных на соответствующий вектор распределения:

$$s^* = \sum_{s \in \{s\}} s_s \times \xi_s(s); \quad h^* = \sum_{h \in \{h\}} h_h \times \xi_h(h) \quad (18)$$

Размерность векторов распределения:  $\xi^s(s, t)$ ,  $\xi^h(h, t)$  определяется конкретной базой данных, используемой при исследованиях Зоны планирования, в частности, если опираться на базу данных “WARMIS”, то вектор  $\xi^s(s, t)$  имеет четыре компоненты, а вектор  $\xi^h(h, t)$  – семь.

Динамика вектора  $\xi^h(h,t)$  зависит только от колебания уровня грунтовых вод, отметки земли в данной работе считаются постоянными, следовательно, для изменений вектора  $\xi^h(h,t)$  можно принять, что  $\partial(\xi^h(h,t))/\partial t \sim \partial h/\partial t = -\partial z/\partial t$ ,  $z(t)$  – отметка уровня грунтовых вод. В свою очередь динамика уровня грунтовых вод  $z(t)$ , определяется исходя из условий водного баланса в зоне аэрации и функционирования оросительной и коллекторно-дренажной сети. Далее будем полагать, что поверхность, с площадью  $H$ , плотно покрыта оросительными системами  $H_\eta$ ,  $\cup H_\eta = H$ ;  $\eta \in \{\eta\}$  – множество оросительных систем. На этой поверхности выращивается множество сельскохозяйственных культур  $\{R\}$ , имеющих площади  $H_r$ ,  $\cup H_r \leq H$ ;  $r \in \{R\}$ . И часть этой поверхности дренируется коллекторно-дренажной сетью с площадью  $H_d$ ,  $\cup H_d \leq H$ ;  $d \in \{d\}$  – множество коллекторно-дренажных систем. Кроме этого, в начальный период времени, известны функции: распределения площадей по бонитету и степени засоленности почв, а также уровень залегания грунтовых вод. Используя условия однородности, по аналогии с [3], введем понятие **комплексного гектара**, который представляет собой гектар, отражающий в статистическом смысле, все характеристики исследуемой территории орошения, тогда векторы распределения  $\xi^s(s,t)$ ,  $\xi^h(h,t)$  для комплексного гектара, сохраняют тот же смысл, что и для поверхности орошения, а при определении объема продукции сельскохозяйственных культур, воспользуемся вектором распределения  $\xi^r$ , с компонентами:

$$\xi_r = H_r / H; \quad \forall r \in \{R\}; \quad (19)$$

Аналогичные векторы введем для определения оросительных и коллекторно-дренажных систем:

$$\xi_\eta = H_\eta / H; \quad \forall \eta \in \{\eta\}; \quad (20)$$

$$\xi_d = H_d / H; \quad \forall d \in \{d\}; \quad (21)$$

Теперь удельные параметры комплексного гектара территории орошения можно определить в виде скалярного произведения собственных характеристик каждого элемента, на соответствующий ему вектор  $\xi$  распределения, а именно:

**а) оросительные системы:**

- к.п.д. “Т”

$$\eta^{T,\eta} = \eta^T \bullet \xi^\eta \equiv \sum_{\eta \in \{\eta\}} \eta_\eta^T \times \xi_\eta; \quad (22)$$

- к.п.д. “U”

$$\eta^{U,\eta} = \eta^U \bullet \xi^\eta; \quad (23)$$

- удельная капиталоемкость оросительной сети

$$c^\eta = c^\eta \bullet \xi^\eta; \quad (24)$$

- удельные эксплуатационные затраты по оросительной сети

$$c^{\eta,s} = c^{\eta,s} \bullet \xi^\eta; \quad (25)$$

- удельная максимальная подача водных ресурсов

$$q^{max} = q^{max} \bullet \xi^\eta; \quad (26)$$

**б) коллекторно-дренажная сеть:**

- удельное водопотребление на промывку

$$q^N = q^N(s) \bullet \xi^s \equiv \sum_{s \in \{s\}} q^N(s) \times \xi_s(s); \quad (27)$$

здесь  $q^N(s)$  – промывная норма в Зоне орошения при засоленности почвы “s”.

- приведенный дренажный модуль

$$q^d = q^d \bullet \xi^d \equiv \sum_{d \in \{d\}} q_d \times \xi_d; \quad (28)$$

- удельная капиталоемкость коллекторно-дренажной сети

$$c^d = c^d \bullet \xi^d; \quad (29)$$

- эксплуатационные затраты по коллекторно-дренажной сети

$$c^{d,s} = c^{d,s} \bullet \xi^d; \quad (30)$$

**с) сельскохозяйственные культуры:**

- удельная продуктивность культуры “Г”

$$y_r = y_r(b) \bullet \xi^b \equiv \sum_{b \in \{b\}} y_b^r \times \xi_b(b); \quad (31)$$

- удельное водопотребление на орошение сельскохозяйственных культур

$$q^R(\tau) = q^r(\tau) \bullet \xi^r; \quad (32)$$

- удельный доход сельскохозяйственных культур

$$d^R = (y_r \times P^r) \bullet \xi^r; \quad (33)$$

- удельные затраты на выращивание сельскохозяйственных культур

$$c^R = c^r \bullet \xi^r; \quad (34)$$

здесь  $y_r(b)$  – удельная продуктивность культуры “Г” при бонитете почвы “b”,  $P^r$  – вектор фактической стоимости единицы культуры, с учетом вторичной продукции,  $\tau$  – время внутри одного года, “•” – оператор скалярного умножения.

Полученная система показателей (22)-(34) совместно с шестью векторами распределения (17) и (19)-(21) завершает компоновку территории орошения и устанавливает недостающие связи между компонентами, определяющими функционирование всей Зоны планирования. Эта система является *базовой* для дальнейших исследований, поскольку она позволяет с одной стороны достаточно строго определить текущее состояние любой территории орошения, а с другой – сравнивать параметры разных орошаемых территорий с различными характеристиками поверхности почвы, оросительных и коллекторно-дренажных систем, а также оценивать степень влияния изменений отдельных элементов на комплексное изменение ее функционирования.

## **СОВРЕМЕННАЯ СИТУАЦИЯ С ДРЕНИРОВАНИЕМ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ**

Интенсивное внедрение совершенных типов дренажа (вертикальный, горизонтальный, комбинированный) с одновременным развитием производства оборудования для сооружения дренажа и его ремонта (траншейные и бестраншейные дренажные машины, дренопромывочные машины и т.д.) началось в 1960 году с освоения целинных земель Голодной степи. В результате площадь систематически дренируемых орошаемых земель достигла почти 4,5 млн. га (таблица 4).

**Таблица 4 Площадь орошаемых и дренируемых земель в бассейне Аральского моря (в 1000 га)**

Показатели	Государства					Итого
	Южный Казахстан	Киргизстан	Таджикистан	Туркменистан	Узбекистан	
Орошаемые площади	786.2	429.9	719.2	1744.1	4280.6	7959.6
Требуемый дренаж	570	300	600	922.1	3308	5700.1
Площадь дренирования	509.2	19.6	328.6	822	2809	4488.4
Включая вертикальный дренаж	320	-	53.5	5.3	401	779.8
закрытый горизонтальный дренаж	5.9	2.4	137.6	167	698.3	1011.2
комбинированный дренаж	-	-	0.8	3.3	12.0	16.1

Степень дренирования земель не одинакова как в различных государствах Центральной Азии так и в различных зонах. Так например в Узбекистане если в Каршинской степи и на Сурхан-Шерабадском массиве удельная протяженность закрытого горизонтального дренажа составляет соответственно 28.0 м и 37,4 м то в Голодной степи она при тех же глубинах заложения 2.5-3.5 м составляет 63,5 м.

Общая площадь дренирования совершенными типами дренажа около 1 млн. га, что составляет только 25% от реальной потребности всех государств региона.

Темпы строительства совершенных типов дренажа до распада СССР достигали в разные годы более чем до 100 тыс. га в год. Даже при таких объёмах ввода дренажа он мог бы позволить покрыть потребность региона в совершенном дренаже не менее чем за 20-летний период.

После создания независимых государств и процесса развития сельскохозяйственных предприятий ситуация с дренажом стала еще тяжелей. Почти полный отказ от государственных инвестиций на развитие ирригации отразился прежде всего на закрытии всех программ по строительству и реконструкции дренажа.

Если в конце 80-х начале 90-х годов мощности строительной индустрии по производству труб достигали до ежегодного выпуска до 11 тыс. тонн полиэтиленовых и полихлорвиниловых дренажных труб, 2000 км дренажных керамических труб, 6 млн.м<sup>3</sup> песчано- гравийных фильтровых материалов, количество дреноукладочных машин превышало 100 штук, а парк дренопромывочных машин позволял обеспечивать очистку ежегодно до 2500 км дрен. Ежегодное строительство вертикального дренажа составило около 600 скважин. В результате резкого сокращения внимания к мелиоративному состоянию земель мы наблюдаем кое-где полное и кое-где частичное игнорирование необходимости дренажных работ.

В настоящее время общая мощность парка мелиоративных машин упала в 10 раз, производства труб для дренажа в 100 раз, очистки дрен в 15 раз. Если раньше частота очистки межхозяйственных коллекторов была 1 раз в 3 года, а внутрихозяйственных 1 раз в год, то теперь она уменьшилась в 2,5-3,0 раза. Все эти технические и эксплуатационные недостатки стали особенно опасны для будущего плодородия земель.

Главные причины:

- отсутствие ( в Казахстане, Киргизистане, Таджикистане) государственной поддержки мелиоративных работ и снижение этой поддержки в Узбекистане и Туркменистане;

- слабость земледельцев в новых развивающихся странах для выполнения этих работ собственными силами и собственными инвестициями;
- отсутствие кредитных линий для новых водопользователей с целью организации реконструкции дренажной сети;
- огромный рост цен на энергоносители ;
- нечеткий статус бывшей дренажной сети во время приватизации земель с точки зрения ответственности и собственности;
- отсутствие четких рекомендаций по эксплуатации и содержанию дренажной сети АВП, учитывая различие между границами влияния ирригации и дренажа;
- потеря внимания к продуктивности земель.

Ясно, что сохранение такой ситуации может вызвать громадные потери продуктивности орошаемых земель и другие, экологические и социальные последствия.

Дренажные проблемы бассейна рассматриваются на основе 3-х принципов:

1. завершение дренажной сети там, где они не были выполнены в соответствии с проектом.
2. реконструкция существующих дренажных систем
3. соответствующая эксплуатация существующих дренажных систем.

Для этого необходимо:

- разработать более полное понимание существующей структуры использования земель и плодородия, учитывая следующее: условия оросительных и дренажных сетей, недостаток водных ресурсов и ухудшение качества оросительной воды. Оценить земли Центральной Азии, используя новые критерии и методы;
- развить систему оценки состояния дренажа. Определить эксплуатационное состояние существующей дренажной сети и необходимые меры по ее реконструкции;
- определить стандарты проектирования дренажной сети с учетом внутрихозяйственной потребности в орошении, качества воды и перехода к новым правилам использования воды и земли;
- разработать нормативы по эксплуатации дренажных систем, которые позволят передать АВП ответственность за эксплуатацию и техническое содержание сети.

В принципе, предложенные действия минимизируют потери воды в оросительной сети, но требуют громадных капитальных вложений. Это требует следующие шаги:

- осуществление режима орошения культур в соответствии с планируемым урожаем;
- повышение эффективности промывок путем внедрения интенсивных методов культивации культур (глубокое рыхление, применение химмелиорантов и органических удобрений, глубокая вспашка и севообороты);
- обеспечить равномерное увлажнение и рассоление почвы и минерализации инфильтрационных грунтовых вод посредством оптимизации размеров орошаемых участков и планировки;
- пересмотр выбора культур с точки зрения экологических, экономических и социальных условий региона;
- исключение сильнозасоленных земель из севооборота;
- организация производства и крупномасштабного внедрения лучших дренажных машин и усовершенствованных технологий орошения для обеспечения внутрихозяйственной подачи воды по бороздкам и достаточного увлажнения корневой зоны;
- организация регулярной очистки и ухода за межхозяйственными и внутрихозяйственными коллекторами и водосборами для предотвращения дальнейшего ухудшения технического состояния существующего дренажа орошаемых земель;
- инициировать работы по реконструкции и ремонту внутрихозяйственных дрен,

дренажных коллекторов трубчатых колодцев, а также внедрение современных дренажных технологий;

- определить соответствующую государственную поддержку дренажной сети, особенно для вертикального дренажа и межхозяйственных коллекторов;
- организовать местную базу для ухода и ремонта дренажных систем на контрактной основе;
- восстановить местное производство труб и дренажной техники;
- создать обучение и повышение квалификации молодых специалистов по дренажу (строительство, эксплуатация, технический уход).