

**В. Н. Щедрин, А. В. Колганов,  
С. М. Васильев, А. А. Чураев**

**ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ РОССИИ:  
ОТ ПОКОЛЕНИЯ К ПОКОЛЕНИЮ**

В двух частях

Часть 1

Новочеркасск  
2013

УДК 626.82  
ББК 40.6  
О 69

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В. Л. Бондаренко – доктор технических наук, профессор;  
А. Д. Гумбаров – доктор технических наук, профессор.

**Щедрин, В. Н., Колганов, А. В., Васильев, С. М., Чураев, А. А.**

О 69      Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – В 2 ч. – Ч. 1. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 283 с.

ISBN 5-93542-042-2

В подготовке материалов для отдельных разделов монографии принимали участие: Г. Т. Балакай, Ю. М. Косиченко, Ю. Ф. Снопич, Ю. Е. Домашенко, Д. С. Гузыкин, А. С. Капустян, А. В. Акопян, А. Н. Бабичев, Т. П. Андреева, Е. И. Шкуланов, Н. И. Балакай, С. Г. Балакай, Н. В. Антонова, В. В. Слабунов, П. В. Калинин, А. А. Пахомов, В. В. Бородычев, С. Я. Семененко, М. Н. Лытов, Л. Р. Нозадзе, М. А. Ляшков, Е. В. Павелко, Е. Д. Михайлов, Ю. А. Свистунов, М. Б. Дуэль, В. А. Назаренко, М. П. Якуба, А. А. Кулагин, А. В. Соловьев, В. В. Гордиенко, Ю. А. Петров, Г. В. Шабалин, Ю. В. Некрас, С. М. Тулиглович, Х. О. Мажидов.

В монографии, на основании комплексного ретроспективного анализа, рассмотрены вопросы технического и технологического развития оросительных систем в разрезе поколений. На основании теории развития сложных техногенных объектов дается современная оценка технического уровня элементов отечественных оросительных систем, мелиоративных ГТС и перспективный прогноз их развития. Приведены функциональные подходы реализации оросительных систем с элементами пятого поколения на примере автоматизированной системы динамического управления первой очереди Лево-Егорлыкской ОС.

Монография рассчитана на широкий круг специалистов проектных, строительных, эксплуатационных, учебных, научных организаций: мелиораторов, гидротехников, инженеров, экономистов, проектировщиков, студентов соответствующих профильных ВУЗов.

ISBN 5-93542-042-2

УДК 626.82  
ББК 40.6  
© ФГБНУ «РосНИИПМ», 2013

# СОДЕРЖАНИЕ

## Часть 1

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ В РОССИИ.....	6
1.1 Ретроспективный анализ развития оросительных мелиораций.....	6
1.2 Теоретическая интерпретация развития оросительных систем как сложных технических объектов.....	18
2 ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.....	42
2.1 Оросительные системы Центрального федерального округа.....	42
2.1.1 Оросительные системы Московской области.....	42
2.2 Оросительные системы Южного федерального округа.....	43
2.2.1 Оросительные системы Республики Адыгея.....	43
2.2.2 Оросительные системы Калмыкии.....	47
2.2.3 Оросительные системы Краснодарского края.....	48
2.2.4 Оросительные системы Волгоградской области.....	63
2.2.5 Оросительные системы Ростовской области.....	88
2.3 Оросительные системы Северо-Кавказского федерального округа.....	105
2.3.1 Оросительные системы Республики Дагестан.....	105
2.3.2 Оросительные системы Кабардино-Балкарской Республики.....	110
2.3.3 Оросительные системы Чеченской Республики.....	112
2.3.4 Оросительные системы Ставропольского края.....	113
2.4 Оросительные системы Приволжского федерального округа.....	135
2.4.1 Оросительные системы Саратовской области.....	135
2.4.2 Оросительные системы Ульяновской области.....	148
2.5 Оросительные системы Сибирского федерального округа.....	148
2.5.1 Оросительные системы Республики Алтай.....	148
2.5.2 Оросительные системы Республики Бурятия.....	150
2.5.3 Оросительные системы республики Хакасия.....	152
2.5.4 Оросительные системы Алтайского края.....	155
2.5.5 Оросительные системы Новосибирской области.....	156
2.5.6 Оросительные системы Омской области.....	161
2.6 Оросительные системы Дальневосточного федерального округа.....	170
2.6.1 Оросительные системы Приморского края.....	170
3 ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ В КОНТЕКСТЕ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПОКОЛЕНИЙ ОС.....	178
3.1 Регулирование водораспределением.....	178
3.1.1 Регулирование водораспределением на ОС первого поколения.....	178
3.1.2 Регулирование водораспределением на ОС второго поколения.....	179
3.1.3 Регулирование водораспределением на ОС третьего поколения.....	181
3.1.4 Регулирование водораспределением на ОС четвертого поколения.....	184
3.1.5 Регулирование водораспределением на ОС пятого поколения.....	193
3.2 Регулирование водопользованием.....	197
3.2.1 Регулирование водопользованием на ОС первого поколения.....	197
3.2.2 Регулирование водопользованием на ОС второго поколения.....	198
3.2.3 Регулирование водопользованием на ОС третьего поколения.....	198
3.2.4 Регулирование водопользованием на ОС четвертого поколения.....	198
3.2.5 Регулирование водопользованием на ОС пятого поколения.....	204
3.3 Организация водоучета.....	209
3.4 Программированное выращивание урожая сельскохозяйственных культур ..	215

3.5 Контроль мелиоративного состояния орошаемых земель .....	217
3.6 Контроль качества оросительной воды, утилизация и использование сбросных вод.....	221
3.7 Контроль качества коллекторно-дренажных вод.....	232
3.8 Контроль за качеством и количеством водоотведения .....	234
3.9 Управление качеством полива .....	236
3.10 Контроль состояния ГТС .....	239
3.11 Управление водозаборными сооружениями, сетевыми ГТС и устройствами...	242
3.12 Автоматизация и телемеханизация ОС .....	245
3.13 Технические средства, обеспечивающие измерение аэро- и метеопараметров .....	248
3.14 Способы орошения .....	249
3.14.1 Поверхностное орошение .....	251
3.14.2 Орошение дождеванием .....	251
3.14.3 Подпочвенное орошение .....	251
3.14.4 Капельное орошение .....	251
3.14.5 Аэрозольное орошение .....	252
3.15 Конструктивные элементы и поливная техника.....	252
3.15.1 Поливная борозда .....	252
3.15.2 Поливная полоса.....	253
3.15.3 Поливная кротовина.....	253
3.15.4 Поливной чек .....	253
3.15.5 Выводная борозда.....	254
3.15.6 Временный ороситель .....	254
3.16 Системы земледелия.....	254
3.17 Севообороты.....	258
3.18 Система удобрений.....	262
3.19 Дождевальные машины.....	266

## ВВЕДЕНИЕ

Мелиоративный сектор является одной из подотраслей российского агропромышленного комплекса, где реформы идут особенно болезненно. На ее современном функционировании сказываются последствия директивных методов управления в прошлом, бессистемность организационных преобразований в последнее десятилетие, техническая и технологическая отсталость оросительных систем (ОС), дефицит водных ресурсов, экологические и другие проблемы. Весьма сложной оказалась задача обеспечения мелиорации ресурсами для поддержки работоспособности оросительных систем, решаемая, главным образом, путем финансирования ее из бюджетных источников. Последнее обстоятельство позволяет только временно сохранять в большинстве случаев рентабельность сельхозпроизводства на орошаемых землях, несмотря на кризисное состояние сельского хозяйства в целом.

Технический уровень ОС является важнейшим фактором обеспечения относительной стабильности сельхозпроизводства в ведущих сельскохозяйственных регионах. Низкий технический уровень большинства ОС неизбежно ведет к деградации важнейших сфер функционирования АПК в целом, к зависимости от импорта продовольствия, ставит под угрозу производство сельскохозяйственной продукции и создает условия для нарушения экологического равновесия. Поэтому принципиальное решение проблемы заключается в реальной оценке существующих технических и технологических возможностей оросительных систем и последствий их функционирования. Верно произвести такую оценку возможно, на наш взгляд, только в разрезе поколений оросительных систем, выделенных путем ретроспективного анализа. Такой подход позволит в каждом конкретном случае осуществлять необходимые преобразования, направленные на повышение технического уровня поколений. Главным средством этих преобразований станет теоретическое и практическое обоснование необходимости смены поколений оросительных систем.

Конкурентоспособность отечественной сельхозпродукции, выращенной на орошаемых землях, определяется способностью собственников оросительных систем к постоянному совершенствованию технологий и алгоритмов управления на всех стадиях жизненного цикла данных объектов.

Мировая динамика развития орошаемого земледелия по показателям темпов роста производительности и экологичности свидетельствует о впечатляющих успехах государств, переходящих к использованию более совершенных по техническому уровню оросительных систем.

Закон смены поколений техники и технологий применительно к развитию оросительных систем теоретически обобщает не только закономерности совершенствования их технического уровня, но и специальные закономерности: циклического изменения объемов производства продукции; многостадийного развития технологических элементов системы на всех иерархических уровнях; специализации сельскохозяйственного производства; скачкообразного увеличения производственной мощности сельхозпредприятий, осваивающих поливную технику и технологии управления водораспределением, характерные для новых поколений ОС.

Появлению новых поколений ОС предшествует возникновение новых потребностей, которые не могут быть удовлетворены с помощью реализации существующего на данный момент времени технического уровня. При выполнении инновационных проектов, направленных на смену поколений ОС, между структурой и функциями оросительной системы должно соблюдаться соответствие, по соотношению технического уровня ОС и стоимости его реализации на практике.

Изложенные в данной монографии подходы призваны определить пути дальнейшего технологического развития отечественного орошаемого земледелия за счет теоретического и практического обоснования смены поколений ОС на платформе фундаментальных законов эволюции техники и технологий.

# 1 ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ В РОССИИ

## 1.1 Ретроспективный анализ развития оросительных мелиораций

Орошение в нашей стране имеет огромное значение, так как пахотные земли расположены, в основном, в степной и лесостепной зонах. Только 35 % их находится в благоприятных климатических условиях, обеспеченных осадками. Обширные площади пахотных земель находятся в засушливой и полузасушливой зонах, где урожайность сельскохозяйственных культур резко колеблется. По данным Гидрометцентра каждые 35 лет сильная засуха охватывает Астраханскую и Волгоградскую области 15-16 раз, Ростовскую область – 12 раз, Ставропольский край – 14 раз, то есть летняя засуха в южных регионах наблюдается почти каждый второй год. Это снижает урожайность всех сельскохозяйственных растений и, в первую очередь, зерновых культур на 45-57 %. Недостаточное выпадение осадков в апреле-мае определенно сказывается на урожае яровых хлебов, недостаточные осадки в сентябре-октябре – на урожае озимых, а в летний период – на всех остальных культурах.

При проведении ретроспективного анализа в развитии оросительных мелиораций, целесообразно выделить четыре этапа.

**ЭТАП 1.** Такие культуры как овощи, рис, многолетние травы и виноград выращивать без поливов в южных степных областях практически невозможно, поэтому уже в XIX веке были приняты первые попытки развития орошения на Северном Кавказе и в Поволжье. В то время широко использовались естественные лиманы, разливы степных рек, подстепные ильмени, затопляемые во время паводка рек. Здесь широко применяли так называемое паводочное орошение. Уже с половины позапрошлого столетия стали сооружать небольшие запруды на степных реках и лощинах для задержания весенних снеговых вод и залужения степи. Так возникло простейшее лиманное орошение, особенно распространенное в Поволжье. Вдоль Западного Прикаспия, где обеспеченность осадками незначительная, а повторяемость засух и бездождевых периодов большая, население уже столетиями использует воду горных рек и, в первую очередь, реки Терек.

Мелиоративные работы на Северном Кавказе начаты с первых лет появления русских поселенцев, которые селились вблизи водных артерий – Терека и Кубани. Основные водные артерии Кавказа – Кубань, Терек, Сулак – прижаты к предгорьям, к южной, наиболее обеспеченной осадками территории, в то время как на севере и востоке расположены обширные засушливые и безводные территории с таким же благоприятным теплым климатом и плодородными почвами. Древнейшей системой лиманного орошения является система на реке Торгун близ с. Савинка Астраханской области, перестроенная в 1841-1842 гг.

В Южном Дагестане орошение существует более 400 лет. Применяют его для виноградников, садов, овощных, технических и зерновых культур, на небольших площадях возделывается рис.

Наряду с паводочным орошением, в низовьях Терека более 200 лет назад возникло орошение виноградников со своеобразным способом полива по тахтам. Здесь поливы даются не только для обеспечения необходимой влажности, но в целях создания пресной подушки и снижения засоленности. Примерно в то же время возник второй орошаемый оазис с возделыванием виноградников и овощей в низовьях Кумы. Площадь его в дореволюционное время достигала 14 тыс. га. Уже к концу XIX века лиманное орошение, получив широкое распространение, в значительной мере технически совершенствовалось. Орошение на юге России на первом этапе его развития рассматривалось как дополнение к богарному земледелию. А это совершенно иная и самостоятельная отрасль. Многое было заимствовано из практики орошаемого земле-

деля Средней Азии, но при этом не были приняты в расчет совершенно иные природные условия. Высокое плодородие почв и глубокое залегание уровня грунтовых вод создавали впечатление «легкости освоения» земель под орошение. Контрастность исходных почвенных и геологических условий в мелиоративном отношении недооценивается и до настоящего времени. В условиях богары она мало проявляется, но при орошении играет большую роль в изменении мелиоративных и гидрогеологических условий развития почв.

**ЭТАП 2.** В России на государственном уровне заниматься вопросами мелиорации начали с 1894 года, когда при Министерстве земледелия и государственных имуществ России было создано первое государственное учреждение по мелиорации – Отдел земельных улучшений (ОЗУ). При этом само понятие «мелиорация» (в переводе с лат. *«melioratio»* означающее улучшение) в качестве синонима «земельных улучшений» в российской науке и практике утвердилось несколько позднее. В ведении ОЗУ находились орошение и обводнение земель, осушение болот и добыча торфа, гидротехнические и противоэрозионные работы, регулирование рек, строительство водозаборных скважин и другие виды мелиораций, выполнявшихся за счет государственных средств, а также управление водохозяйственными организациями на местах [1].

Первыми руководителями ОЗУ были генерал И. П. Жилинский и князь В. И. Массальский, которые сыграли важную роль в развитии мелиорации в России. Для проведения земельных улучшений (мелиораций) была проведена большая работа по созданию законодательной основы. Так в 1902 г. был принят первый в России мелиоративный закон «Правило об устройстве канав и других водопроводных сооружений на чужих землях для осушительных, оросительных и обводнительных целей». Позднее были подготовлены проекты законов о мелиоративных товариществах (кооперативах крестьян для совместного проведения мелиоративных работ) и об утверждении уездных организаций ОЗУ, которые в 1913 были приняты Государственной Думой. В постановлении особо отмечено, что мелиорация включена в число важнейших направлений деятельности государства.

Под руководством ОЗУ была проделана огромная работа в разных регионах России по изысканиям и проектированию оросительных систем. Тем самым была заложена основа для крупномасштабного развития мелиорации в Поволжье, на Северном Кавказе, Алтае, в Сибири и на Дальнем Востоке.

В это время отдел земельных улучшений организует работу по переводу на русский язык и изданию лучших зарубежных книг по ирригации, выделяет средства на издание книг отечественных авторов, издает журналы «Ежегодник ОЗУ» и «Бюллетень ОЗУ».

Из статистических отчетов установлено, что в 1916 году в рамках СССР площади орошаемых земель составляли 3,8 и осушенных 3,2 млн га, а в границах нынешней Российской Федерации площадь мелиорированных земель составляла около 1,7 млн га, в т. ч. орошалось 214 тыс. га и было осушено 890 тыс. га сельскохозяйственных угодий. Примером комплексного использования вод местного стока в сухой степи для обводнения, а также для регулярного и лиманного орошения до революции служил орошаемый участок А. М. Жеребцова. Он располагался в северо-восточной части Волгоградской области, на водоразделе двух притоков реки Медведицы – речек Арчары и Березовки. Орошаемая площадь этого участка была доведена до 75 га. Обращает на себя внимание своеобразный способ каптажа атмосферных осадков. В одном случае система водосборных каналов, раскинутых на десятки километров в степи, перехватывает снеговые и дождевые воды в огромные искусственные озера – водохранилища, откуда вода поступает на орошаемые поля; в другом – ряд последовательных запруд одной и той же лощины балки скапливает воду естественных водосборов для затопле-

ния низинных покосов и для обводнения участка; в третьем – одни водосбросные каналы с земляными валами при них, разбитыми по горизонтали, без всяких водохранилищ, скапливают и задерживают на некоторое время снеговую воду на прилегающей 80-100 метровой полосе земли и таким путем залужают ее. Все водохранилища расположены на вершинах балок.

Блестящие результаты 60-летнего опыта орошения полей не могли не обратить на себя внимание местного населения. Окрестные жители стали устраивать орошение и на своих землях.

Орошаемый участок А. М. Жеребцова послужил примером для развития орошения на юге России и стал школой для многочисленных студентов и инженеров мелиораторов.

На Кавказе возникла необходимость перераспределения водных ресурсов Северного Кавказа, главным образом, Терека и Кубани. Здесь были построены каналы Эрстовский, Курский, Щедринский. Уже при строительстве этих обводнительных каналов ставился вопрос о необходимости использования их для орошения, особенно в Низовьях Терека.

Начиная с 1896 г. были построены каналы, имевшие целью и обводнение и орошение. Так, Терско-Аксаевский канал сделал пригодными для земледелия более 100 тыс. га земель. Сулакская канава, проведенная еще в 1867 г., к 90-м годам XX века орошала 60 тыс. га.

1901-1907 годы были неурожайными. Наиболее резко выраженной засухой отличался 1911 год. В силу этих причин во многих областях были организованы общественные работы по обводнению и орошению. В это же время правительство организовало выдачу ссуды из так называемого мелиоративного кредита. Все это привело к развитию обводнительно-оросительных работ в ряде областей, пострадавших от неурожая. Был организован на Еренгинской балке Передняя Тингута Тингутинский участок площадью 759 га, из которых под правильным орошением было занято 445 га, под лиманным – 300 га, 14 га – под опытным полем без орошения. В 1913 г. было организовано Управление по изысканиям и работам в Среднем и Нижнем Поволжье.

До революции были проведены изыскания и составлены проекты обводнения и орошения северной части Ставрополя водами реки Кубань.

Однако, начавшаяся Первая мировая война прекратила работы по развитию орошения. До октябрьской революции на территории будущей РСФСР было 186 тыс. га орошаемых земель.

В решениях сложных проблем, стоящих перед страной, большое место всегда занимали вопросы развития мелиорации, обеспечивающие повышение устойчивости сельскохозяйственного производства и его интенсификацию.

В 1918 году подписан декрет об ассигновании 50 млн руб. на оросительные работы. Большое внимание развитию мелиорации, прежде всего орошению, уделено в плане ГОЭЛРО, принятом в 1920 году. В это время были организованы первые опытно-мелиоративные станции, а в 1920 г. – зональные опытно-мелиоративные организации.

Особенно остро вопрос орошения стал в Поволжье и на Северном Кавказе в связи с сильнейшими засухами и неурожаями в 1924 и 1931-32 гг.

Этот период был ознаменован созданием сети научных институтов гидротехники и мелиорации, в том числе Государственного института сельскохозяйственной мелиорации (ГИСХМ) под руководством А. Н. Костякова (в настоящем ВНИИГиМ), Саратовского и Донского институтов сельского хозяйства и мелиорации и чуть позднее – Северо-Кавказского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации (с 1934 г. – ЮжНИИГиМ, в настоящее время – РосНИИПМ) и считается периодом



становления отечественной мелиоративной науки.

Профессором А. Н. Костяковым были заложены основополагающие принципы мелиоративного районирования земель, учения о режиме орошения и технике полива сельскохозяйственных культур, генетической теории стока поверхностных вод, теории работы дренажа и сформулированы основные перспективные задачи опытно-мелиоративной деятельности: изучение рациональных норм и способов проектирования, строительства и эксплуатации мелиоративных систем, установление потребностей в различных видах мелиораций в зависимости от почвенно-климатических, гидрологических и экономических условий [2, 3].

Начало 1930-х годов стало началом активного развития орошения и продиктовало необходимость в практических разработках для мелиоративной отрасли. Достаточный уровень разработок могли обеспечить только научные институты с развитой опытно-мелиоративной сетью, каким стал в эти годы Южный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации. Зона действия ЮжНИИГиМ охватывала Азово-Черноморский и Северо-Кавказский края, Нижнее Поволжье и Калмыцкую АССР. В состав института вошли Персиановская опытно-мелиоративная станция (организована в 1923 г.), Кубанская комплексная станция (1930 г.), Сунженский опытно-мелиоративный участок (1936 г.), Кизлярский опытно-мелиоративный участок (1924 г.), Сальский опорный пункт (1936 г.). Наряду с этим институт осуществлял научно-методическое руководство сетью опытно-мелиоративных организаций, включая Терскую ОМС, Мало-Кабардинскую станцию, Сталинградскую сеть, Лиманную станцию в Калмыцкой АССР, Дубачью станцию.

Становление института в 30-е годы происходило под руководством известного ученого С. М. Алпатьева. Основное внимание ученых в эти годы уделялось вопросам изменения свойств почв при поливах, режимам и способам орошения, просадочным явлениям на различных грунтах. Проводились исследования в области гидротехники и сельскохозяйственного водоснабжения, в первую очередь в связи с организацией животноводческих и зерновых совхозов. Разрабатывались способы поверхностного полива, конструкции дождевальных аппаратов, механизмы для планировки поверхности почвы, нарезки борозд, насыпки земляных валов для полива по полосам, машины по уходу за каналами.

В целом в довоенный период отечественной мелиоративной наукой был осуществлен ряд крупных разработок на высоком уровне, получивших широкое признание как в нашей стране, так и за рубежом. Это расчет режимов орошения сельскохозяйственных культур, теория, методы расчета и проектирования элементов техники поверхностного полива. Сделаны первые работы по такому прогрессивному способу орошения, как дождевание, и разработана оригинальная конструкция самоходной дождевальной машины, явившейся прообразом широко известного дождевального агрегата ДДА-100. Было дано научное обоснование дренажа, промывки, разработаны оригинальные конструкции гидротехнических сооружений, водозаборных узлов, насосных станций. Одновременно активизировалось строительство не только Средней Азии, но и на Северном Кавказе и Поволжье. В короткий срок до войны введены в строй канал Октябрьской Революции в Дагестане, Мало-Кабардинская оросительная система в Кабардино-Балкарии, Невинномысский канал в Ставрополье, рисовые оросительные системы на плавневых землях низовья Кубани в Краснодарском крае.

Терско-Кумская оросительно-обводнительная система, построенная в 1930-1935 гг., позволила оросить 35 тыс. га засушливых земель в Чечено-Ингушской, Кабардино-Балкарской, Северо-Осетинской АССР и Ставропольском крае, обводнить около 600 тыс. га.

В Поволжье в довоенный период орошение развивалось только на местном стоке.

Была построена первая очередь Энгельсской оросительной системы. В 1935-1937 гг. построены Толстовский и Кутулукский орошаемые участки, в последующем ставшие крупными оросительными системами. В границах СССР к 1941 году площади мелиорированных земель достигли 11,8 млн га, в т. ч. построены новые оросительные системы в зоне Волго-Донского, Кубань-Егорлыкского, Терско-Кумского каналов, Барабинской степи (Западная Сибирь) и др. В целом же орошаемые площади рассредоточивались небольшими участками по отдельным хозяйствам, чтобы в случае засух иметь гарантированный урожай. Одно из обстоятельств, имевшее значение в снижении эффективности использования воды и земли, особенно в первые годы орошения, было связано с неподготовленностью населения к ведению орошаемого земледелия и недостатком определенной техники, а также специалистов. Не был разработан и агротехнический комплекс, который для орошаемого земледелия совсем иной, чем для богары. Агротехника, сорта сельскохозяйственных культур, структура посевов были заимствованы из богарного земледелия, которые были нацелены на то, чтобы лучше использовать режим естественных осадков.

**ЭТАП 3.** Великая Отечественная война приостановила начавшиеся крупные мелиоративные работы на юге России, они продолжались только в Среднеазиатском регионе.

Сразу после войны в стране приступили к осуществлению предусмотренных работ гидротехнического строительства на крупных реках.

Быстрыми темпами мелиорация стала развиваться после майского (1966 г.) и особенно октябрьского (1984 г.) Пленумов ЦК КПСС. На мелиорацию были выделены крупные государственные капитальные вложения, которые в 1966 году составили 1,7 млрд руб., в 1985 году – 8,3 млрд руб., и материально-технические ресурсы. За 1967-1985 гг. существенно возросли площади орошаемых (с 9,8 до 19,7 млн га) и осушенных (с 7,5 до 14,6 млн га) земель. Из 48,7 тыс. колхозов и совхозов мелиорированные земли имели 80 % хозяйств.

Одним из первых крупнейших комплексных водохозяйственных проектов, предусматривающих решение задач транспорта, гидротехники, обводнения и орошения, было строительство Волго-Донского судоходного канала, который имел большое значение для развития ирригации Ростовской и Волгоградской областей. Строительство Цимлянского водохранилища создало возможность орошения донской водой площади свыше 750 тыс. га.

Цимлянский гидроузел позволил воды Дона направить с помощью Донского магистрального канала и ряда крупных распределительных каналов к Манычским степям и на восток, в засушливые степи Задонья. Одновременно были созданы условия для орошения на сухом междуречье Волги и Дона и по берегам Цимлянского водохранилища в Волгоградской области. На базе Цимлянского водохранилища были построены Верхне-Сальская, Пролетарская и Манычская системы, а позже началось развитие орошения на Багаевско-Садковской, Азовской, Донской, Цимлянской, При-сальской, Мартыновской, Ковричинской, Приморской системах на площади 150 тыс. га, а также в пойме реки Дон – 87 тыс. га.

Благодаря столь широкомасштабному строительству уже к 1960 году в Ростовской области имелось 154,7 тыс. га орошаемых земель, из них в районе крупных оросительных систем – Азовской, Багаевско-Садковской и Нижнедонской – 122 тыс. га и на местном стоке – 32,7 тыс. га.

При проектировании, строительстве и реконструкции указанных мелиоративных объектов на общей площади свыше 1 млн га широко внедрялись разработки Юж-НИИГиМ. В эти годы в институте работали крупнейшие ученые в области мелиорации: академик ВАСХНИЛ Б. А. Шумаков, канд. техн. наук В. П. Витте, канд. техн. на-

ук А. Ф. Литвинцев, канд. техн. наук З. И. Метельский, д-р техн. наук В. С. Оводов, канд. техн. наук Ч. А. Чуприн, канд. техн. наук М. А. Прокофьев и др.

Основателем новочеркасской мелиоративной школы Б. А. Шумаковым для применения в безводных районах Заволжья и Западного Прикаспия была разработана в эти годы эффективная система лиманного орошения с использованием не только местного стока, но и вод рек Волги и Терека с подачей их по каналам и распределением по ярусам мелкого затопления. Им был предложен новый способ полива по бороздам-щелям, вдвое повышающий производительность труда на поливах. Под его руководством начато строительство крупных рисовых оросительных систем на Кубани, организована Кубанская опытно-мелиоративная станция, разработаны новые приемы возделывания риса при периодических поливах, выведены новые перспективные сорта риса [4-6].

Большие возможности для обводнения и орошения Нижнего Поволжья создались благодаря строительству Куйбышевского и Волгоградского гидроузлов на Волге. Уже в 1960 году орошаемая площадь в Волгоградской области составила 41,9 тыс. га и в Астраханской области – 54,7 тыс. га. Здесь на орошаемых землях возделывали кукурузу на силос, озимую пшеницу, люцерну и овощи.

На Кубани сразу после войны приступили к восстановлению разрушенных рисовых систем и дальнейшему расширению орошения, в первую очередь Кубанской рисовой системы. Источником питания системы служит река Кубань. Для обеспечения водозабора новой системы на реке Кубань построен Федоровский гидроузел. Он должен обеспечить подачу воды на Кубанскую, Марьяно-Чубургольскую и Федоровскую системы.

В начале 50-х годов начато строительство Афипской, Петровско-Анастасиевской оросительных систем. Таким образом, в послевоенный период и до 1966 г. в Краснодарском крае общая площадь орошаемых земель составила 118,4 тыс. га.

Окончание строительства Невинномысского гидроузла на Кубани, в разработке проекта которого принимал деятельное участие Б. А. Шумаков, обеспечило подачу Кубанской воды в безводную степную реку Егорлык, на базе которой было построено Ново-Троицкое водохранилище. Оттуда берет начало Право-Егорлыкская оросительно-обводнительная система, которая охватывает площадь 33,2 тыс. га. Из Ново-Троицкого водохранилища подача воды была запроектирована и в строящуюся Лево-Егорлыкскую оросительную систему.

Вторым крупным обводнительно-оросительным объектом в Ставропольском крае является Кубань-Калаусская система, берущая начало в верховьях Кубани, где построен гидротехнический узел, обеспечивающий подачу воды на восток из р. Кубань, с образованием большого водохранилища на месте имеющегося озера. Из него обеспечивается подача в восточную часть Ставрополя для орошения в перспективе до 200 тыс. га.

Дагестан, где орошение существовало очень давно, благодаря наличию на территории республики таких крупных рек, как Терек, Сулак, Самур и мелких – Аксай, Акташ, Гамри, по состоянию на 1960 г. занимал первое место по орошаемым площадям в Российской Федерации. Орошаемая площадь в этот период составила 348,0 тыс. га.

Гидроузлы на реке Терек и оросительные Мало-Кабардинская, Терско-Кумская, Алханчуртская и другие системы позволили осуществить орошение земель на значительной площади Северного Кавказа.

В Кабардино-Балкарской республике Мало-Кабардинская межреспубликанская обводнительно-оросительная система орошает площадь 13,9 тыс. га. Вторая ороси-

тельная система – Терско-Кумская, орошает площадь 22,1 тыс. га. Общая площадь орошаемых земель в республике в 1965 г. равнялась 67,0 тыс. га.

Чечено-Ингушская республика на начало 1965 года имела 89,0 тыс. га орошаемых земель, обслуживаемых Алханчуртской, Грозненской, Гудермесской, Наурской, Сунженской и Шелковской системами.

Северо-Осетинская республика орошением стала заниматься недавно и на начало 1965 года имела 26,0 тыс. га орошаемых земель.

Всю орошаемую площадь обслуживали Дигорская, Саликская, Эльхотовская и Герменская системы.

Орошаемые земли играли существенную роль в производстве сельскохозяйственной продукции. Несмотря на небольшой удельный вес в общей площади сельскохозяйственных угодий, на них получали до 20 % всей продукции растениеводства.

Опыт освоения орошаемых земель, накопленный колхозами и совхозами юга России, подтверждал высокую эффективность орошения всех сельскохозяйственных культур.

На Северном Кавказе и низовьях Волги орошение обеспечивало получение урожаев в 2-3 раза, а в отдельных случаях в 4-5 раз выше, чем на богарных землях. Затраты на строительство оросительных систем окупались в 2-3 года. Предусматривалось расширение площадей орошения под овощные, особенно вокруг крупных населенных пунктов, основные и кормовые культуры.

Наиболее широкий размах мелиоративное строительство получило после принятия государством программы мелиорации земель. К 1970 году площади орошаемых земель в Южном Поволжье и на Северном Кавказе составили 1345,7 тыс. га, а к 1975 году – 1675,6 тыс. га.

За период с 1965 по 1975 гг. существенно повысились валовые сборы риса, зерна пшеницы и кукурузы, овощей за счет роста посевных площадей и урожайности возделываемых культур.

В 70-е годы мелиоративная наука дает мощный импульс развитию орошения за счет новых направлений исследований. Ученые ЮжНИИГИМ под руководством директора академика Б. Б. Шумакова создали основу для программированного выращивания сельскохозяйственных культур, позволяющего получать два-три урожая в год на орошаемых землях, разработки и внедрения новых способов и технологий полива, включая капельное и внутрипочвенное; на новом уровне продолжались научные исследования в области использования вод местного стока для орошения [7-9].

В 1980-1990 гг. наблюдался дальнейший рост площадей орошаемых сельхозугодий и к 1990 г. площадь их составила 2716,3 тыс. га.

В эти годы положительным оказался опыт создания научно-производственных объединений с замкнутым циклом проведения научно-исследовательских работ от их постановки, опытно-производственной проверки, отработки технологий, изготовления опытных партий приборов, машин, механизмов до внедрения в мелиоративную практику. Одно из ведущих мест среди родственных структур мелиоративного профиля заняло НПО «Югмелиорация», созданное на базе ЮжНИИГиМ под руководством чл.-кор. РАСХН В. И. Ольгаренко. В состав объединения вошли конструкторское бюро с опытно-производственными мастерскими, вычислительный центр, бюро внедрения новой техники и передовой технологии, опытно-мелиоративные станции с опытно-производственными хозяйствами (Ростовская, Грозненская, Дагестанская, Курская), Сунженский опытно-мелиоративный пункт, учебный комбинат ЮжНИИГиМ и Дагестанский учебный комбинат, Неклиновское районное производственное ремонтно-эксплуатационное объединение.

Одним из основных, востребованных отраслью направлений исследований ста-

ло создание полностью автоматизированных оросительных и осушительных систем, работающих с учетом прогноза агрометеопараметров, обеспечивающих рациональное использование земельных, водных, трудовых, энергетических и материальных ресурсов и разработка новых приемов реконструкции мелиоративных систем для повышения их надежности, уровня механизации и автоматизации технологических процессов, обеспечения роста эффективного использования мелиорированных земель [10, 11].

До 1990 года задачи интенсификации орошаемого земледелия (повышения эффективности использования оросительной воды и земли, а также обеспечения высокого уровня плодородия почв) выполнялись на должном уровне. На эти работы выделялись специальные средства, и они почти на 100 % выполнялись.

В этот период выполнены научные работы по созданию инженерных мелиоративных систем. Созданы оригинальные рисовые оросительные системы, обеспечивающие высокий уровень механизации всех технологических процессов. Под руководством известного ученого-рисовода З. Ф. Туляковой разработаны и повсеместно на юге России внедряются интенсивные технологии возделывания риса, обеспечивающие повышение продуктивности рисовых чеков в 2-3 раза. Разработаны конструкции закрытых оросительных систем, являющиеся новым шагом научно-технического прогресса в мелиорации. Внедрены оригинальные конструкции систем для орошения на местном стоке, позволяющие проводить мобильное орошение. Разработаны системы вертикального дренажа.

Академиком Б. С. Масловым предложен принципиально новый тип систем – осушительно-увлажнительные системы, усовершенствованием конструкций и компоновки которых занимались ученые ВНИИГиМ [12].

Крупные работы выполнены в области гидротехнических мелиоративных сооружений, созданы их рациональные конструкции, обладающие высокой надежностью работы, приспособленные к внедрению средств автоматизации водораспределения и водоучета.

В эти годы развитие мелиораций стало носить комплексный характер. Разработки систем комплексной мелиорации земель, которые велись учеными ВНИИОЗ под руководством академика И. П. Кружилина, обеспечили научно-обоснованные предпосылки к созданию экологически нормированных и экономически обоснованных по программируемой продуктивности и антропогенной нагрузке агроландшафтов [13, 14]. Под руководством профессора Г. А. Сенчукова разработаны алгоритмы планирования агрокомплекса при выращивании программированных урожаев сельскохозяйственных культур на орошаемых землях, ориентированные на применение непосредственно специалистами сельхозпредприятий.

Одновременно с развитием водных мелиораций осуществляются работы по культуртехнике, мелиорации засоленных, щелочных, солонцеватых и кислых почв, по повышению плодородия орошаемых земель. Были созданы схемы и конструкции оросительных систем, использующих широкозахватную дождевальную технику. Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга» разрабатывает и широко внедряет экологически безопасные технологии и технику полива сельскохозяйственных культур, технические средства оросительного комплекса для различных типов агроландшафтов и севооборотов.

Коллективы передовых ученых ВНИИГиМ под руководством академика Б. М. Кизяева и ЮжНИИГиМ под руководством профессора А. А. Коршикова параллельно разрабатывают мощные дренаукладочные комплексы, обеспечивающие строительство закрытого дренажа с глубиной укладки труб до 3,5 м, средства механизированного строительства бестраншейного дренажа с глубиной до 3,0 м. Используются в производстве землеройные и бетоноукладочные комплексы, обеспечивающие строи-

тельство оросительных каналов с бетонной облицовкой и противифльтрационными экранами и многие другие разработки.

За этот период проведены большие работы по мелиорации солонцовых земель и повышению плодородия почв.

К 1990 году площадь орошаемых земель по сравнению с 1980 годом в России возросла на 23 %, в том числе в Поволжском районе на 42 %, в Северо-Кавказском районе – 20 %.

Продуктивность орошаемой пашни в 1980 году в Российской Федерации составляла 31,69 ц кормовых единиц с 1 га (немелиорируемой – 15,28 ц к. е./га), в Поволжском районе – 30,48 (12,87), в Северо-Кавказском районе – 37,32 (25,18). Валовые сборы зерновых культур в 1980 году с орошаемых земель составляли 3113 тыс. т, а в 1988 году – 3899 тыс. т, овощей, соответственно, 4688 и 4997 т. Урожайность зерновых в 1980 г была 30,4 ц/га, в 1988 г. – 30,9 ц/га, в отдельные годы – до 34 ц/га, а в Северо-Кавказском районе они достигали 38 ц/га, в том числе в Краснодарском крае – 47,3; Ростовской области – 39,2, в Кабардино-Балкарии – 46,2 ц/га. Таким образом, орошаемое земледелие с 1980 по 1990 гг. оставалось довольно устойчивым, хотя и наметились основные направления экологического кризиса орошаемых земель.

Сложность и особенность орошения в степной зоне состоит в том, что на юге России, как и в Средней Азии, постоянно действующие системы рассчитаны на орошение подкомандной площади в непрерывном действии, участок за участком. Такие условия складываются только в исключительно засушливые годы. В другие годы засухи если и бывают, то непродолжительно, и постоянного орошения не требуется. Но во время засух необходимо орошение одновременно всей площади регионов, что при существующих конструкциях оросительной сети невозможно. Таким образом, переполив во влажный период и недополив в сухое время запрограммированы в самой оросительной системе. Постоянный ток воды вынуждает поливать всегда и даже тогда, когда нет в этом необходимости, или же надо сбрасывать воды неиспользованными. Переполивы в данных условиях опаснее, чем недополивы, так как ведут к ухудшению мелиоративного состояния, подъему уровня грунтовых вод, выщелачиванию кальция из почв и другим негативным явлениям.

Срочное строительство дренажа не привело к глобальному улучшению мелиоративного состояния орошаемых земель, так как на части земель дренажная сеть оказалась малоэффективной из-за плохого качества строительства и эксплуатации.

Для искусственного снижения уровня грунтовых вод необходимо строительство дренажно-коллекторных систем, что дорого и не всегда позволяет полностью исключить вредное влияние переполивов и переувлажнения почв. К тому же из-за того, что оросительная сеть не обеспечена антифильтрационными одеждами, сброс оросительных вод идет в дренажно-коллекторные системы, в результате чего снижается минерализация дренажно-коллекторных вод. Данные показывают, что более половины стоков по дренажно-коллекторным системам образуется за счет сброса оросительных вод и 30 % – за счет дренирования грунтовых вод, которые пополняются фильтрационными потерями из каналов различных иерархических уровней. Это свидетельствует о несовершенстве конструкций как оросительных, так и дренажно-коллекторных систем. Фактически при существующих системах 80 % вод используются неэффективно. Они идут на сброс и фильтрацию.

**ЭТАП 4.** В границах Российской Федерации к 1990 году площадь мелиорированных земель составила 11,27 млн га. В 1990 году эти работы были практически остановлены, что привело к уменьшению площади мелиорированных земель. Так за 1990-2007 годы площадь мелиорированных земель сократилась с 11,27 до 9,28 млн га, в том числе орошаемых – с 6,16 до 4,50 млн га. В 2010-2012 годах пре-

кратилось снижение площадей орошаемых и осушенных земель и они стабилизировались на уровне 9,1 млн га, в т. ч. 4,29 орошаемых и 4,79 млн га осушаемых. В последние годы наблюдается некоторая стабилизация в размерах площадей мелиорированных земель, что связано с разработкой ФЦП «Развитие мелиорации земель в России на период до 2020 года» и субсидированием экономически значимых региональных программ, в т. ч. субсидирования до 50 % затрат сельхозпредприятий на техническое перевооружение внутрихозяйственных оросительных систем. Начиная с 1991 г. по 1997 г. происходило ежегодное сокращение площади орошаемых земель. В целом по Российской Федерации в среднем за 1993-1997 годы орошаемые сельхозугодья сократились на 648,8 тыс. га, или на 11,4 %, по сравнению с периодом 1980-1992 годов. При оценке этой ситуации следует помнить, что стабильность орошаемого фонда зачастую поддерживалась списанием мелиоративно-неблагополучных земель и вводом в строй новых площадей. Однако к этому времени резерв земель, пригодных для орошения, был практически исчерпан, а внедрение, научная и производственная отладка дорогостоящих методов и технологий экологической реабилитации не имела экономической базы.

Особенно значительное сокращение орошаемых сельхозугодий наблюдалось в Нечерноземной зоне (20,8 %).

В Северо-Кавказском районе орошаемые земли за этот период сократились на 155 тыс. га или на 8,3 %, в Ростовской области соответственно на 70 тыс. га или на 17,1 %.

В Поволжском районе общая площадь орошаемых земель за этот же период снизилась на 195,2 тыс. га или 12,8 %, а в Астраханской и Волгоградской областях соответственно на 73 тыс. га или 13 %.

Сокращение орошаемых площадей за этот период объяснялось интенсивным процессом их списания. Не менее половины оросительных систем, построенных в 50-60 гг., как правило, без дренажа, с каналами в земляном русле, к описываемому периоду имели уже значительный моральный и физический износ. Межхозяйственная оросительная сеть и гидротехнические сооружения, а также ряд насосных станций требовали реконструкции или капитального ремонта. Особенно неудовлетворительное положение наблюдалось на орошаемых землях, которые эксплуатировались более 45-50 лет.

Сокращение площадей орошаемых земель связано не только с кризисом в сельском хозяйстве. Фундамент для него был заложен еще в первых этапах освоения земель.

В книге «Наши степи прежде и теперь» В. В. Докучаев писал, что «... попытки орошения почв степей нашей страны много раз предпринимались в прошлом и они не раз терпели неудачу. Устройство правильного водного хозяйства в России связано с массой разнообразнейших естественноисторических и хозяйственно-экономических условий. Оставить это без внимания нельзя и опасно в интересах дела и государства...». Прошло более 100 лет, а слова В. В. Докучаева все еще злободневны. Ошибки в орошении до сих пор не исправлены.

На протяжении всех этапов развития орошения в России строительство оросительных систем осуществлялось с одной целью – повышение продуктивности мелиорированного гектара. При этом недостаточная обоснованность большинства проектов мелиоративных систем привела к проявлению таких негативных последствий, как вторичное засоление, заболачивание, переосушение, земель, истощение и загрязнение водных источников и нарушение природного равновесия в окружающей среде, которые охватили не только мелиорируемые, но и прилегающие к ним территории.

Несмотря на внедрение в практику мелиоративного строительства новых прогрессивных технологий и технических средств, принятая стратегия допускала огромные потери воды, забранной из источников орошения, во всех звеньях проводящей, распределительной сети и на полях с общими непроизводительными потерями воды 35-50 % и более.

Основным мероприятием для ликвидации негативных последствий орошения до сих пор остается дренаж. Попытка, не изменяя качественной системы общественных отношений, найти выход в сфере технических и технологических решений привела к созданию новых, еще более сложных проблем. Так, решение проблемы по предупреждению и ликвидации негативных последствий орошения (заболачивание, засоление и осолонцевание) привело к резкому ухудшению экологической ситуации в орошаемых регионах в результате формирования больших объемов коллекторно-дренажных вод, что вызвало повышение минерализации воды в реках и ее загрязнение пестицидами и остатками удобрений.

Эксплуатация существующих оросительных систем практически невозможна без больших энергозатрат, механизации, химмелиорации и т. д., которые в свою очередь оказывают сильное воздействие на окружающую среду и нарушают сложившееся веками равновесие в природе. Поэтому при проектировании и реконструкции оросительных систем, наряду с увеличением продуктивности сельхозкультур, с конца 80-х гг. прошлого века ведущими учеными-мелиораторами настоятельно рекомендовалось учитывать фактор рационального использования природных ресурсов, решать проблему сохранения и улучшения экологической ситуации.

В это же время была сформулирована основная цель экологизации оросительных систем – получение высококачественной биопродукции, необходимой для человека при сохранении экологической устойчивости системы.

Обобщая научные работы РосНИИПМ (ЮжНИИГиМ), ВНИИГиМ, ВНИИОЗ, МГУП, НГМА можно заключить, что в мелиоративной науке конца 80-х – начала 90-х гг. прошлого века появилось четкое понимание необходимости экологизации оросительных систем, которая в общих чертах выражается следующими позициями [15-20]:

1 Разработка совершенных мелиоративных систем при адаптивно-ландшафтном земледелии с ограниченным вмешательством в природные процессы, рациональным использованием природных ресурсов.

2 Биологизация технических систем с помощью методов экологической инженерии (защитное лесоразведение, обоснование инженерно-биологических систем и др.).

3 Применение специально созданных сортов и гибридов для мелиорированных земель, объединяющих высокую продуктивность с устойчивостью к болезням и вредителям, засоленным почвам, заморозкам.

4 Экологизация техники и технологии полива.

5 Применение пестицидов без нарушения системы биологического контроля над вредителями.

6 Разработка более эффективных дренажных систем и методов дренирования сельскохозяйственных земель.

7 Разработка более современных межхозяйственных и внутрихозяйственных систем распределения воды.

8 Финансово-кредитная политика государства в АПК и, в первую очередь, в области мелиоративной деятельности должна стимулировать повышение эффективности производства сельскохозяйственных культур на мелиорированных землях, структурную перестройку и адаптацию мелиоративных систем в новых экологических условиях, сохранение и поддержание стратегически важных для страны производств на мелиорированных землях.

9 Перечень основных направлений научных исследований, обеспечивающих сохранение, восстановление мелиораций в России на основе рационального природопользования, может быть представлен в следующем виде:

- совершенствование и разработка принципиально новой многоцелевой полив-



ной техники, обладающей низким потреблением материальных и энергетических ресурсов;

- совершенствование и разработка конструкций мелиоративных систем, обеспечивающих эколого-мелиоративную устойчивость мелиорируемых территорий, экономии водных, материальных и энергетических ресурсов;

- разработка энерго- и ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур на мелиорируемых землях;

- разработка принципов и технологий создания экологически устойчивых мелиоративных агроландшафтов;

- разработка экономического блока проблем сохранения и развития мелиораций, освоение и использование мелиорированных земель;

- совершенствование нормативно-методической базы ведения мониторинга за состоянием мелиорируемых территорий и мелиоративных систем;

- создание системы объективной оценки общественной необходимой потребительской стоимости услуг мелиоративного комплекса.

Т. е. в этот период (1985-2000 гг.) в отечественной мелиоративной науке четко выделяется понимание того, что обеспечение воспроизводства плодородия земель сельскохозяйственного назначения является важнейшей приоритетной проблемой, решение которой необходимо для улучшения природной среды, экологической обстановки, предотвращения снижения и создания условий для повышения уровня и устойчивости сельскохозяйственного производства. Таким образом, техногенная составляющая оросительных систем уходит на второй план, уступая место экологизации производства.

Обобщая вышеизложенное, можно заметить, что оросительные системы на каждом этапе развития последовательно проходят определенные стадии: развития (повышения научно-технического уровня системы и эффективности производства), стабильного функционирования (поддержания достигнутых НТУ и эффективности) и деградации (снижения НТУ и эффективности). Стартовые условия нового этапа развития определяются стадией жизненного цикла технологии, на которой начинается новый этап развития (переход к новому жизненному циклу технологии или к жизненному циклу оросительной системы).

Можно выделить две группы побудительных причин перехода к новому этапу развития оросительных систем еще на незавершенной стадии развития предшествующего этапа:

- непредвиденные изменения в окружающей среде (например, подъем УГВ, засоление почв, слитизация и др.);

- отставание технологии от передовых достижений НТП в результате низких темпов строительства (часто проявляется в форме «долгостроя» и длительного цикла НИОКР) или принятия непрогрессивных решений при проектировании оросительных систем.

При первичной реакции на такие причины приоритет отдается преимущественно задаче модернизации технологической схемы оросительной системы, поскольку в развитие системы уже вложен капитал и естественным является стремление ускорить отдачу этих вложений.

При вторичной реакции на первый план выходит задача развития, решение которой призвано реализовать качественные измерения и новейшие достижения в технологии проектирования, строительства и эксплуатации оросительных систем. Эта задача дополняется задачей модернизации, без реализации которой нельзя включить в технологическую систему новые прогрессивные элементы.

Переход к новому этапу развития может базироваться на первичных сигналах различной интенсивности. Очевидно, что реакция на слабые сигналы означает более раннее принятие решения о развитии. В этом случае сам процесс развития может быть начат с модернизации элементов оросительной системы с переходом в последующем к более глубоким изменениям технологической схемы.

Сильные обратные сигналы, вызываемые, например ухудшением обстановки на орошаемых полях или непроизводительным использованием забранной воды (для новых условий водопользования, введением платы за услуги по подаче воды), свидетельствуют о близком завершении стадии стабильного функционирования оросительной системы. Переход к новому этапу развития становится в этих условиях задачей безотлагательной, что побуждает отдавать соответствующий приоритет.

Соппротивление нововведениям со стороны организации и персонала на стадии стабильного функционирования оросительной системы объективно вызывается благополучным состоянием предприятия и риском потерять достигнутое.

Стадия деградации оросительной системы, когда эффективность ее эксплуатации неуклонно снижается вследствие физического или морального износа технологического оборудования сопровождается усиливающейся потерей значений КПД, КЗИ и др.

Как показывает практика темп деградации оросительной системы, и скорость смены поколений могут быть понижены за счет реализации соответствующего комплекса мероприятий. Так, если деградация вызвана моральным старением технологического оборудования, за счет внедрения новых технологий, принципов и подходов можно продлить жизненный цикл системы (предложением оригинальных конструкторских решений по модернизации отдельных элементов технологического оборудования ОС). Если деградация вызвана физическим износом технологического оборудования, снижение темпов деградации может быть достигнуто реализацией задачи восстановления системы — заменой и (или) ремонтом оборудования или его элементов. Однако, принципиально решить возникающие качественные проблемы, например спад урожайности орошаемого гектара (закон убывающей урожайности, закон убывающего плодородия и др.) при данном уровне технологической реализации функционирования ОС, не представляется возможным. Поэтому будущее оросительных систем связано с повышением технологичности, наукоемкости, информатизацией операционных процессов на всех элементах и как следствие с внедрением и развитием систем автоматического дистанционного управления всеми технологическими операциями на системе.

## **1.2 Теоретическая интерпретация развития оросительных систем как сложных технических объектов**

Понимание законов развития техники и технологий отвечает на вопросы, почему необходимо осуществлять переход от предшествующего поколения оросительных систем к следующему улучшенному поколению, при каких условиях, когда и какие структурные изменения происходят при переходе от поколения к поколению.

В данной монографии ученые ФГБНУ «РосНИИПМ» с привлечением специалистов НИИ и вузов России постарались раскрыть этапы развития оросительных систем с классификацией их по техническому уровню и предложить критерии, принципы, показатели и требования к элементам ОС нового поколения.

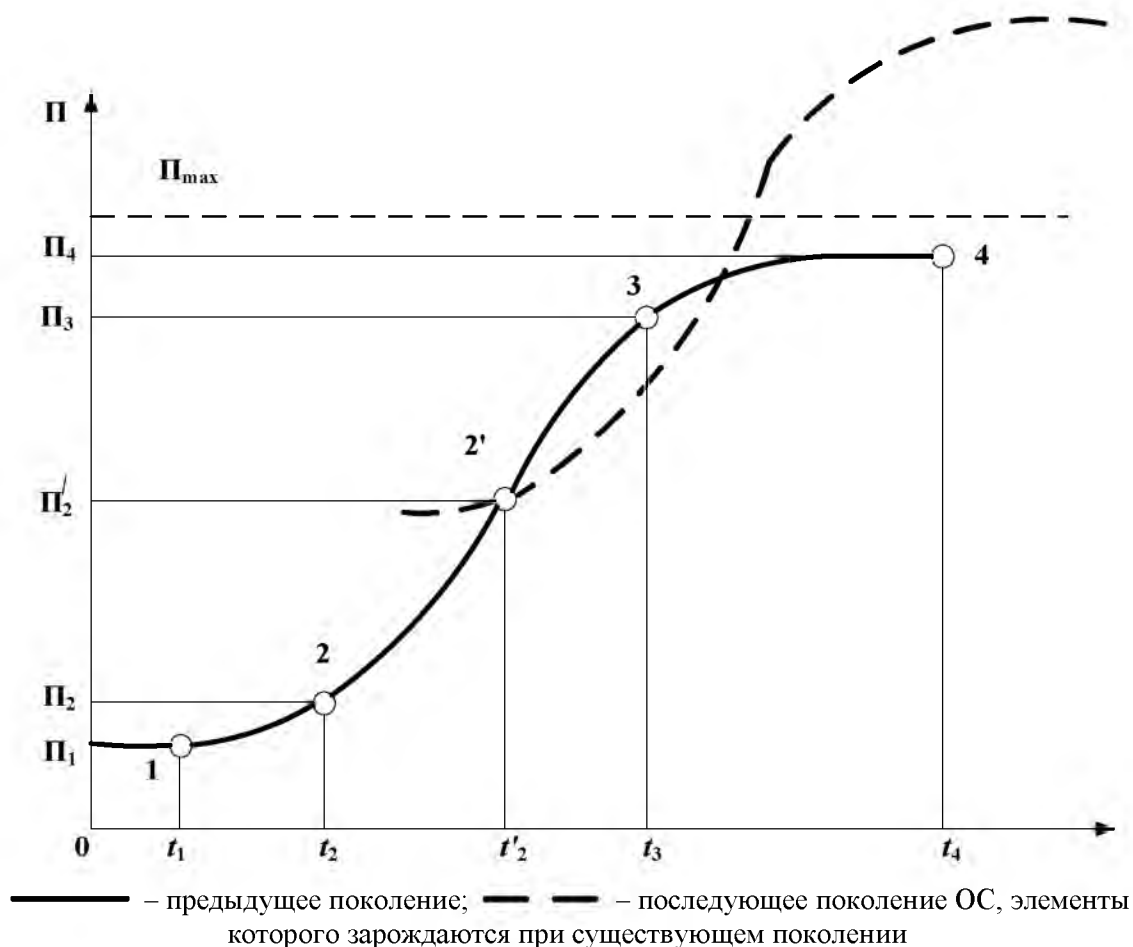
Можно отметить, что на оросительных системах, имеющих одинаковый технический и технологический уровень, переход от поколения к поколению вызван устранением выявленного и неустраняемого на предыдущем уровне технического развития недостатка. Реализация такой возможности связана, как правило, с качественным улучшением техники и технологии и происходит при наличии необходимого научно-

технического уровня производительных сил [21]. Сказанное можно пояснить следующими позициями:

а) при неизменном принципе действия и техническом решении улучшаются параметры ОС до приближения к глобальному экстремуму по значениям эксплуатационных параметров;

б) после исчерпания возможностей первого поколения происходит переход к более рациональному техническому решению (структуре), после чего развитие идет с учетом технических и технологических возможностей следующего поколения.

В полном соответствии с теорией развития сложных технических систем [22] оросительная система на каждом своем этапе эволюции проходит ряд фаз (рисунок 1.1).



**Рисунок 1.1 – Логистическая кривая смены поколений ОС [23]**

Линейный и экспоненциальный рост функции, наблюдаемый на определенных этапах развития ОС, можно рассматривать как аппроксимированные отрезки логистической кривой. На рисунке 1.1 экспоненциальный характер имеет часть логистической кривой в интервале  $(t_1 - t_2)$ , характеризующем период зарождения и экспериментального опробования ОС, которая повышает производительность процесса получения урожая. Этот период, когда ОС нового поколения имеет малый удельный вес среди других аналогичных ОС, называется латентным периодом. Линейный характер зависимости появляется на этапе  $(t_2 - t_3)$  увеличения урожайности, благодаря использованию ОС нового поколения, который можно характеризовать как бурное развитие нового поколения ОС. Период насыщения соответствует интервалу  $(t_3 - t_4)$ , когда становится необходимым переход на использование нового поколения ОС. Время жизни поколения ОС составляет интервал времени  $(t_4 - t_1)$ .

При этом, в каждом случае перехода от поколения к поколению в соответствии с частными закономерностями происходят изменения конструкции, корреляционно связанные с характером причин, характерных для предшествующего поколения ОС, препятствующих повышению урожайности или экономической обстановке, а из всех возможных изменений конструкции реализуется в первую очередь та, которая дает необходимое или существенное устранение этих причин при минимальных интеллектуальных и производственных затратах.

Например, паводочное орошение ограничивало расширение площади орошаемых земель территорией лиманов или площадью поймы водоема, несмотря на наличие водораспределительной и сбросной сетей, а также их элементов. Качественно изменить эту ситуацию позволило появление водозаборных сооружений, методов и способов расчета возможностей водоисточника и конструктивных параметров сооружений на всех стадиях строительства и эксплуатации. Полностью освоить доступные для орошения площади позволяет развитие отраслей промышленности, появление доступной энергии. Это делает возможным на практике в необходимых масштабах осуществить реализацию технических и технологических наработок, апробированных при эксплуатации единичных и можно сказать уникальных ОС, существовавших ранее. Такой подход позволяет реализовать выполнение основной функции любого техногенного объекта – извлечение максимума прибыли. Появление экологических проблем, связанных с нагруженностью территорий техногенными объектами (в нашем случае ОС), заставляет к задаче по извлечению максимальной прибыли добавить и задачу решения этих проблем, без которой становится невозможным реализация первой задачи. В свою очередь появление расширенного спектра проблем резко усложняет задачи оперативного управления ОС и подкомандных этим ОС орошаемыми территориями, которые связаны с оперативной (в режиме реального времени) обработкой больших массивов информации и т. д.

Таким образом, суть смены поколений ОС состоит в том, что в ОС с одинаковой функцией каждый переход от поколения к поколению вызван устранением возникшего главного недостатка (недостатков), связанного с улучшением какого-либо критерия (показателя) развития при наличии определенных технико-экономических условий. Таким образом, сначала на 1-м уровне улучшаются параметры используемого технического решения. Когда изменение параметров мало что дает, изменения осуществляют на 2-м уровне путем перехода к более эффективному техническому решению без изменения физического принципа действия. Затем при исчерпании параметров переходят на новое более прогрессивное техническое решение. Указанные циклы на 1-м и 2-м уровнях происходят до тех пор, пока в рамках используемого принципа действия уже не находят новых технических решений, обеспечивающих улучшение интересующих показателей. После этого наступает революционное изменение на 3-м уровне – переход на новый, более прогрессивный принцип действия и т. д.

При этом появляются новые требования к квалификации не только АУП, но и ко всему техническому персоналу системы, что может вызвать внутренние сопротивления к такому роду изменениям.

В каждом случае перехода от поколения к поколению действуют весьма определенные частные закономерности изменения конструкции, которые с большой вероятностью конкретизируют направление и характер изменения ОС в следующем поколении. Закономерность иерархического исчерпания конструкции ОС действует при соблюдении следующего условия: если при наличии необходимого научно-технического потенциала переход к новому техническому решению или принципу действия обеспечивает получение дополнительной эффективности, существенно пре-

вышающей дополнительные интеллектуальные и производственные затраты, то может произойти скачок к новому техническому решению или принципу действия без исчерпания возможностей предыдущего технического решения или принципа действия.

Закон полноты частей любой технической системы был разработан Г. С. Альтшуллером [24]. Положения этого закона в привязке к ОС могут быть интерпретированы следующим образом:

- отдельные элементы оросительной системы, процессов по забору, транспортировке и подаче воды к точкам водовыделов всегда находятся в тесной взаимосвязи;
- развитие происходит неравномерно: одни элементы ОС обгоняют в своем развитии другие, отстающие;
- планомерное развитие ОС оказывается возможным до тех пор, пока не возникнут и не обострятся противоречия между более совершенными элементами оросительной системы и отстающими ее частями. Это противоречие является тормозом общего развития всей системы. Устранение возникшего противоречия и есть качественный скачок на новый технологический уровень;
- коренное изменение одного элемента ОС вызывает необходимость для функционально обусловленных изменений в других ее частях;
- число таких качественно и количественно различающихся изменений, относящихся к оросительной системе, со временем монотонно и ускоренно возрастает по экспоненциальному закону:

$$P_t = P_0 \cdot e^{at},$$

где  $P_0$  – число изменений до момента  $t=0$ ;

$a$  – эмпирический коэффициент;

$t$  – время в годах.

Следует отметить, что в правильно спроектированной ОС каждый элемент, начиная от сложных водозаборных и водораспределительных сооружений до простой арматуры на сети, и каждый конструктивный признак (например, открытая или закрытая сеть) имеют вполне определенную функцию (назначение) по обеспечению работы по подаче воды потребителю.

Каждый элемент ОС или его конструктивный признак имеют хотя бы одну функцию по обеспечению реализации функции ОС, т. е. исключение элемента или признака приводит к ухудшению какого-либо показателя ОС или прекращению выполнения им своей функции. Совокупность всех таких соответствий в ОС представляет собой функциональную структуру в виде ориентированного графа, который отражает системную целостность ОС и соответствие между ее функцией и структурой.

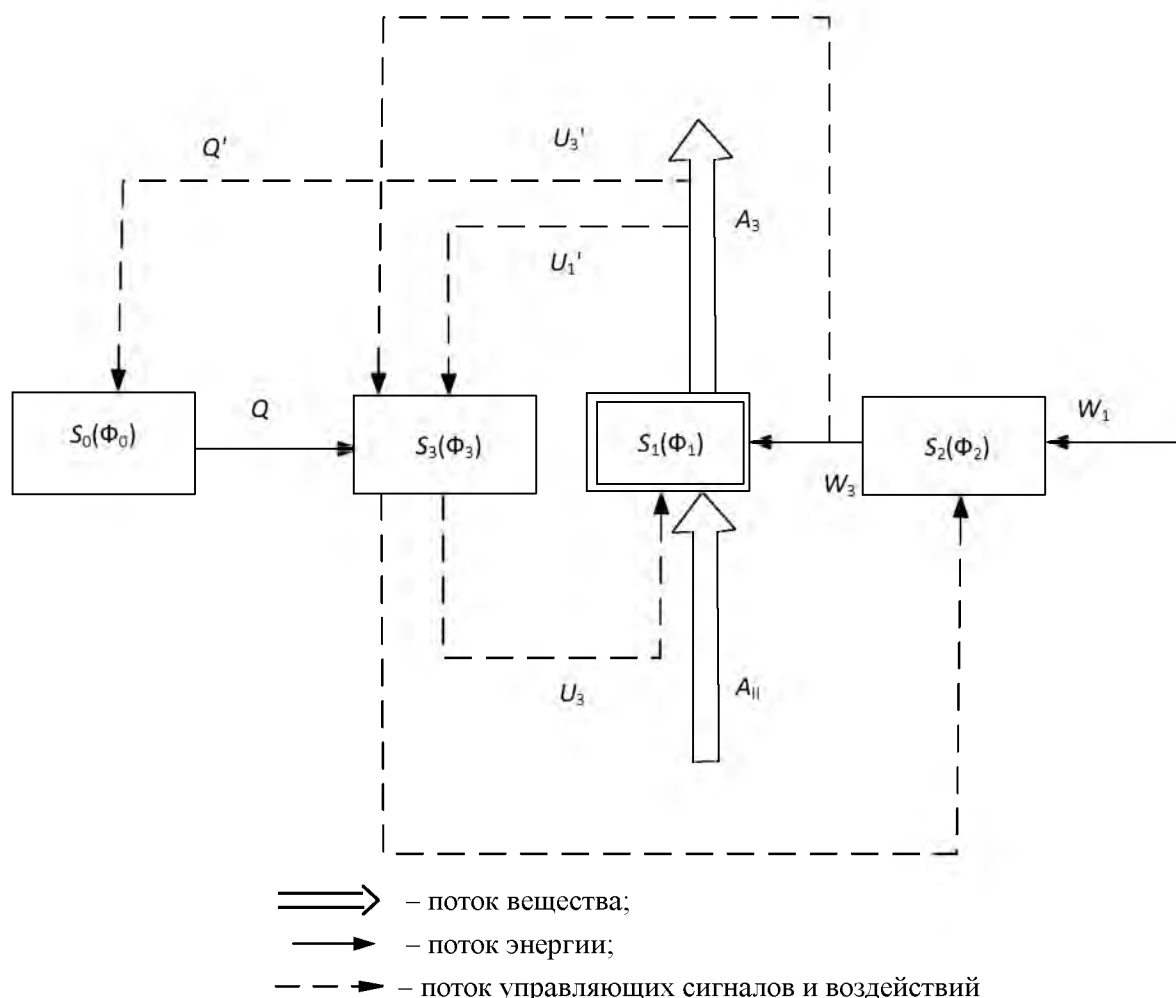
В целом можно отметить, что ОС состоят из четырех подсистем  $S_1, S_2, S_3, S_4$ , реализующих соответственно все четыре выделенные в теории развития технических систем фундаментальные функции [25]. Поэтому обобщенно функциональную структуру можно представить на рисунке 1.2.

$\Phi_1$  – технологическая функция – обеспечивает преобразование забранной воды из водисточника  $A_0$  в конечный продукт – оросительную воду  $A_k$ .

$\Phi_2$  – энергетическая функция – превращает вещество или извне полученную энергию (работа насосных станций)  $W_0$  в конечный вид энергии  $W_k$  (энергия поданной на поля оросительной воды), необходимый для реализации функции  $\Phi_1$ .

$\Phi_3$  – экологическая функция – осуществляет управляющие технологические воздействия  $U_1, U_2$  на подсистемы  $S_1, S_2$  в соответствии с заданной программой  $Q$  и полученной информацией  $U_1^0, U_2^0$  о количестве и качестве негативных экологических изменений при подаче оросительной воды  $A_k$  и конечной энергии  $W_k$ .

$\Phi_4$  – функция автоматизированного интеллектуального управления ОС – собирает (получает) информацию  $Q^0$  о произведенном конечном продукте  $A_k$  и определяет требуемые  $Q$  качественные и количественные характеристики обеспечивающие реализацию процессов по забору подаче и распределению воды при наличии экологических и экономических ограничений.



**Рисунок 1.2 – Обобщенная функциональная структура оросительной системы**

Анализ функций различных ОС позволяет накапливать и формировать базы данных по формализованным описаниям функций элементов ОС и функциональным структурам. Все эти базы данных могут быть эффективно использованы в различных методах поискового проектирования и конструирования, при проведении функционально-стоимостного анализа ОС технологий, построений информационно-поисковых систем для поддержки проектно-конструкторской деятельности.

Таким образом, ОС имеют четыре стадии развития, связанные с последовательной реализацией при помощи технических средств четырех фундаментальных функций и последовательным исключением из технологического процесса соответствующих функций, выполняемых человеком:

- на первой стадии ОС реализует только функцию подачи воды на орошаемое поле (технологическая функция (ТФ));

- на второй стадии, наряду с технологической, ОС реализует еще функцию обеспечения энергией процесса подачи воды на орошаемое поле (энергетическая функция (ЭФ));

- на третьей стадии ОС реализует еще функцию управления (ФУ) интенсивностью экологического воздействия ОС на природные объекты;

- на четвертой стадии ОС реализует также и функцию планирования (ФП) для объема и качества продукции, получаемой в результате подачи воды к точкам водовыдела; при этом человек исключается из технологического процесса, участвуя только на более высоких уровнях.

Переход к каждой очередной стадии происходит при исчерпании природных возможностей человека в улучшении показателей выполнения соответствующей фундаментальной функции в направлении дальнейшего повышения производительности труда и (или) качества производимой продукции, а также при наличии необходимого научно-технического уровня и социально экономической целесообразности.

Однако следует отметить, что первыми оросительными системами выполнялась функция по подаче воды без применения технических средств (паводочное орошение), поэтому такую реализацию функции подачи воды на орошаемое поле будем считать первой стадией развития ОС, а эти ОС отнесем к первому поколению.

В таблице 1.1 в качестве примера приведен процесс стадийного развития реализации основной функции ОС – подача воды на орошение в разрезе поколений.

**Таблица 1.1 – Пример стадийного развития функции в разрезе поколений ОС**

Функция ОС	ПО	ТФ	ТФ + ЭФ	ТФ + ЭФ + ФУ	ТФ + ЭФ + ФУ + ФП
Поколение	первое	второе	третье	четвертое	пятое
Подача воды на орошение	Паводочное орошение	Подача воды с приводом от водяного колеса или использованием тяговой силы	Подача воды с помощью электрифицированных насосных станций	Подача воды НС с системой автоматического управления (САУ) с учетом технологических экологических ограничений	Насосная станция с САУ, получающая задания от автоматизированной интеллектуальной системы управления технологическими и экологическими процессами, осуществляющей предварительный сбор информации и реализуемая через глобальную сеть
Примечание – ТФ – технологическая функция; ЭФ – энергетическая функция; ФУ – функция управления; ФПУ – функция интеллектуального управления.					

Практическое использование закона стадийного развития связано с проведением исследований по его привязке к интересующему поколению ОС, а также к функционально близкому поколению ОС, имеющих опережающие темпы развития.

На основе такого анализа делается вывод о целесообразности перехода к проектированию, строительству и эксплуатации ОС следующего поколения и формируется соответствующее задание на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки.

В настоящее время известны научные разработки качественной модели развития техники [26]. Модель позволяет производить укрупненную качественную оценку научно-технического уровня продукции при проведении фундаментальных и поисковых исследований, в процессе НИОКР, а также при разработке проектных заданий на реконструкцию и создание новых ОС.

Учитывая мировой опыт передовых в научно-техническом отношении стран, нецелесообразно модернизировать ОС второго и третьего поколений, так как они не

отвечают современным технико-экономическим и экологическим требованиям. А экономические стимулы должны быть направлены на ускоренное развитие мощностей для создания ОС четвертого поколения. Тогда ориентиром научно-технических прогресса планов НИОКР, реконструкции опытно-экспериментальных баз будет уже создание систем пятого поколения. Для разработки же шестого и последующего поколений важно нацелить опережающие фундаментальные исследования.

ОС из  $N$  элементов и технологических процессов имеет структуру, состоящую из  $n$  иерархических уровней сложности. Число уровней определяется соотношением:

$$n = C + \ln(N + 1) = \ln e^C (N + 1),$$

где  $C = 0,5772$  – постоянная Эйлера;

$e = 2,7182$  – основание натуральных логарифмов.

Исходные и производные элементы ОС ( $N_i$ ) распределены по иерархическим уровням экспоненциально:

$$N_i = e^{n-i}, \quad (1.1)$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$  – номер иерархического уровня структуры (за первый принят низший уровень иерархии).

Среднее количество информации  $q_i$ , которое содержит каждый элемент устройства  $i$ -го иерархического уровня представлено экспоненциальной зависимостью

$$q_i = e^{i-1}.$$

Из двух последних соотношений определяется среднее количество информации ОС:

$$w = q_i N_i = e^{n-1} = N_i = \text{const.}$$

Далее, пусть у нас имеется  $C$  эталонных поколений ( $H_j, j = \overline{1, C}$ ) по оросительных систем. Эталонное поколение определяется диапазоном изменения ее количественных свойств  $\varphi_i$  ( $\varphi_{i\min} = \varphi^*, \varphi_{i\max} = \varphi^{**}$ ) и значениями ее качественных свойств  $\psi_i$  (0 или 1). Нам требуется отнести к одному из эталонных поколений ОС  $X$ . Для этого вводится следующая метрика, которая характеризует меру близости входного вектора с каждым из эталонных классов  $H_j$ :

- для количественных показателей:

$$a_i = 1 - \frac{|x_i - \varphi^*(H_j)|}{|\varphi^*(H_j) - \varphi^{**}(H_j)|}, \quad (1.2)$$

- при  $x < \varphi^*(H_j)$ :

$$a_i = 1 - \frac{|x_i - \varphi^{**}(H_j)|}{|\varphi^*(H_j) - \varphi^{**}(H_j)|}, \quad (1.3)$$

- при  $x > \varphi^{**}(H_j)$ , если  $\varphi^*(H_j) \leq x_i \leq \varphi^{**}(H_j)$ , то:

$$a_i = 1; \quad (1.4)$$

- для качественных показателей:

$$B_i = \begin{cases} 1, & x_i = \psi_i \\ 0, & x_i \neq \psi_i \end{cases}. \quad (1.5)$$

Мера близости между ОС  $X$  и каждым эталонным поколением  $H_j$  по всем показателям определяется из равенства:

$$\rho(X, H_j) = \frac{1}{u} \sum_{i=1}^u a_i \delta_i + \frac{1}{f} \sum_{i=1}^f B_i \varepsilon_i, \quad (1.6)$$



где  $u, f$  – число количественных и качественных показателей соответственно;

$\delta_i, \varepsilon_i$  – информационные веса показателей, задаваемые в разрезе поколений.

Оросительная система  $X$  относится к тому поколению  $H_j$ , с которым его мера близости  $\rho(X, H_j)$  максимальна.

**Основные принципы и подходы к оценке технического уровня оросительных систем в разрезе поколений.** Предполагаем, что процесс развития исследуемых ОС является поэтапным. Так как в данном методе оценки поколения ОС с применением теории прогнозирования используется волнообразный вид развития технологий, то рассмотрим эту зависимость более подробно.

Элементы нового поколения появляются не только после окончательного устаревания и отмирания прежнего поколения ОС. Новое поколение ОС рождается еще при существовании экономически жизнеспособного предыдущего поколения (точка  $t_2^l$ ). Определение момента замены технологических процессов, а, следовательно, оборудования, оснастки и т. д. является сложной задачей, решение которой возможно на базе всестороннего анализа современного состояния и прогнозирования перспектив технологии и производства, характерных для следующего поколения ОС, исходя из особенностей развития рассматриваемого процесса.

Функция, соответствующая логистической кривой (применительно к динамике развития ОС), имеет вид:

$$\ddot{I}(t) = \frac{\ddot{I}_{\max}}{1 + A \cdot \exp(-u \cdot t)}, \quad (1.7)$$

где  $\ddot{I}_{\max}$  – предельное значение технического уровня рассматриваемого поколения ОС;

$u$  – определяет темп роста технического уровня анализируемого поколения ОС, а поскольку:

$$\frac{\ddot{I}_{\max}}{\ddot{I}(0)} = 1 + A. \quad (1.8)$$

$A \cdot 100\%$  показывает, насколько процентов вырастет производительность рассматриваемого поколения ОС по отношению к его начальному значению.

Анализ логистической зависимости (1.7) показывает, что при  $A > 1$  наибольшее значение темпа развития поколения ОС достигается для момента времени  $t^* = \frac{\ln(A)}{u}$ , откуда имеем соотношение:

$$u = \frac{\ln(A)}{t^*}. \quad (1.9)$$

Отсюда следует, что для прогнозирования характера динамики развития поколения достаточно спрогнозировать числовые значения трех функциональных характеристик, с помощью которых можно будет определить граничные условия, в интервале которых будут зарождаться элементы последующего поколения ОС и происходит качественный скачок на новый уровень (рисунок 1.1).

Данными характеристиками будут служить:

- максимальный технический уровень поколения ОС ( $A$ );
- время достижения максимального темпа роста ( $t^*$ ) производительности при анализируемом поколении ОС;
- темп роста технического уровня ( $u$ ).

Для определения числовых значений этих функциональных характеристик необходимо выявить показатели значимости, характеризующие то или иное поколение оросительных систем за весь период их существования.

Предлагаемые нами показатели значимости, рассматриваемые в разрезе развития оросительных систем, в соответствии с теорией сложных технических систем и технологий представлены в таблице 1.2.

**Таблица 1.2 – Показатели значимости оросительных систем**

Показатели значимости оросительных систем				
1 поколение	2 поколение	3 поколение	4 поколение	5 поколение
$N_1$	$N_1$	$N_1$	$N_1$	$N_1$
$N_3$	$N_3$	$N_2$	$N_2$	$N_2$
$N_7$	$N_5$	$N_3$	$N_3$	$N_3$
	$N_6$	$N_4$	$N_4$	$N_4$
	$N_7$	$N_5$	$N_5$	$N_5$
		$N_6$	$N_6$	$N_6$
		$N_7$	$N_7$	$N_7$
		$N_8$	$N_8$	$N_8$
		$N_9$	$N_9$	$N_9$
				$N_{10}$
				$N_{11}$
Обобщенный показатель технического уровня				
$N_{(I)}$	$N_{(II)} + 1$	$N_{(III)} + 2$	$N_{(IV)} + 3$	$N_{(V)} + 4$

В список показателей [27] добавляем:

- показатель использования современных средств дистанционной передачи данных на автоматизированных оросительных системах:

$$N_{10} = \frac{n_{\text{дп.авт}}}{n_{\text{дп.общ}}}, N_{10} \rightarrow 1,$$

где  $n_{\text{дп.авт}}$  – число элементов оросительной системы, оснащенных современными средствами дистанционной передачи данных, шт.;

$n_{\text{дп.общ}}$  – общее число элементов оросительной системы, на которых могут использоваться средства дистанционной передачи данных, шт.

Показатель оснащения ОС автоматизированными интеллектуальными средствами управления:

$$N_{11} = \frac{n_{\text{инт}}}{n_{\text{инт.общ}}}, N_{11} \rightarrow 1,$$

где  $n_{\text{инт}}$  – число элементов ОС оснащенных автоматизированными интеллектуальными средствами управления, шт.;

$n_{\text{инт.общ}}$  – общее число элементов ОС на которых потенциально могут использоваться автоматизированные интеллектуальные средства управления.

Используя затем соотношения (1.8)-(1.9), получаем прогнозные значения параметров  $A$ ,  $u$  прогнозной модели, а из равенства (1.7) и прогноз самой динамики развития анализируемого поколения ОС.

Для определения погрешности в прогнозных значениях  $\ddot{I}(t)$ , зная порядок погрешностей прогнозных значений вышеуказанных двух характеристик, подсчитываем дисперсии прогнозных значений параметров  $A$ ,  $u$  и дисперсии значений производительности для любой даты в будущем, используя формулы:

$$\sigma^2(u) = \frac{\sigma^2(A)}{A^2 \cdot t^{*2}} + \left( \frac{\ln A}{t^{*2}} \right)^2 \cdot \sigma^2(t^*), \quad \sigma^2(A) = \frac{\sigma^2(\ddot{I}_{\max})}{\ddot{I}^2(0)}; \quad (1.10)$$

$$\sigma^2(\ddot{I}(t)) = \sigma^2(\ddot{I}_{\max}) \cdot \frac{t}{t^{*2}},$$

где значения дисперсий  $\sigma^2(t^*)$ ,  $\sigma^2(\ddot{I}_{\max})$  определяются на основе экспертных оценок.

В частности, используя формулы (1.10), можно вычислять доверительные интервалы для параметров  $A$ ,  $u$  и значений  $\ddot{I}(t)$  для любого заданного технического уровня [28].

Математический пакет Mathcad позволяет проводить анализ показателей значимости для определения технического уровня оросительных систем с привязкой их к поколениям. Для решения такой задачи можно написать программный модуль в пакете MathCad, который будет состоять из функций, рассчитывающих экологические показатели оросительных систем.

В пакете MathCad составлены функции, позволяющие рассчитывать экологических показатели по всем пяти поколениям оросительных систем и строить поверхность этих показателей. Для решения таких задач следует указать исходные значения.

Исходными данными в данной задаче выступают векторы показателей значимости.

Оценка показателей значимости производится в следующей последовательности:

- строится функция желательности;
- параллельно оси абсцисс проводится линия (линия 1, 2, 3, ...,  $n$ ), каждая из которых предназначена для характеристики отдельного показателя значимости ( $N_n$ );
- на линиях 1, 2, 3, ...,  $n$  отмечаются точки, отвечающие отдельным показателям значимости, и определяются частные функции для этих показателей;
- кодированные значения показателей значимости  $y_i$  распределяются по количественной шкале от нуля до единицы;
- частная функция показателя значимости определяется графически с помощью соответствующей функции Харрингтона, которая используется как номограмма;
- обобщенный количественный показатель технического уровня оросительной системы представляет собой среднее геометрическое из частных функций показателей значимости и определяется по формуле:

$$N = \sqrt[n]{N_1 \cdot N_2 \cdot \dots \cdot N_n}.$$

Найденные значения обобщенного показателя технического уровня оцениваемых оросительных систем сравниваются со шкалой эталонной оросительной системы и между собой.

Полученные результаты сводятся в таблицу поколений (таблица 1.3).

На основании анализа результатов делается вывод о техническом уровне оросительной системы, путях его повышения путем внедрения современных разработок в области науки и техники, усовершенствованных технологий эксплуатации, новых поколений материалов, рационального использования материальных и трудовых ресурсов, реализации мероприятий по охране окружающей природной среды.

Ниже приводятся фрагменты рабочей области документа MathCad, созданного для подсчета значений технологических показателей оросительных систем всех пяти поколений (рисунки 1.3-1.17). Рисунки 1.3-1.8 включают в себя исходные значения параметров.

Таблица 1.3 – Ведомость оценочных показателей ОС

Оценочные экологические показатели оросительных систем													
№ ОС	$N_1 = 1 - 0,1n_{пред}$	$N_2 = КПД_{факт}$	$N_3 = 1 - 0,1n_{свт}$	$N_4 = 1 - \frac{S_{затрат\ экспл}}{S_{экон. фф\ ор}}$	$N_5 = \frac{L_{обл}}{L_{общ}}$	$N_6 = 1 - \frac{V_{сброса}}{V_{водо\ факт}}$	$N_7 = \frac{n_{авт. ГТС}}{n_{ГТС}}$	$N_8 = 1 - \frac{n_{руч. труда}}{n_{мех. труда}}$	$N_9 = \frac{n_{ДМ\ сов}}{n_{ДМ}}$	$N_{10} = \frac{n_{дп\ авт}}{n_{дп\ общ}}$	$N_{11} = \frac{n_{инт.}}{n_{инт\ общ}}$	Граничное значение эталона по поколениям	Критерий отношения обобщенного показателя технического уровня к эталонной системе V поколения
I	0,3	-	0,1	-	-	-	0,5	-	-	-	-	0,224	0,045
II	0,4	-	0,3	-	0,5	0,3	0,57	-	-	-	-	1	0,2
III	0,5	0,77	0,7	0,7	0,6	0,636	0,625	0,7	0,614	-	-	2,536	0,507
IV	0,7	0,87	0,7	0,765	0,75	0,833	0,714	0,783	0,857	-	-	3,673	0,735
V	0,9	0,99	0,9	0,96	0,913	0,963	0,931	0,963	0,947	0,931	0,942	4,489	0,978

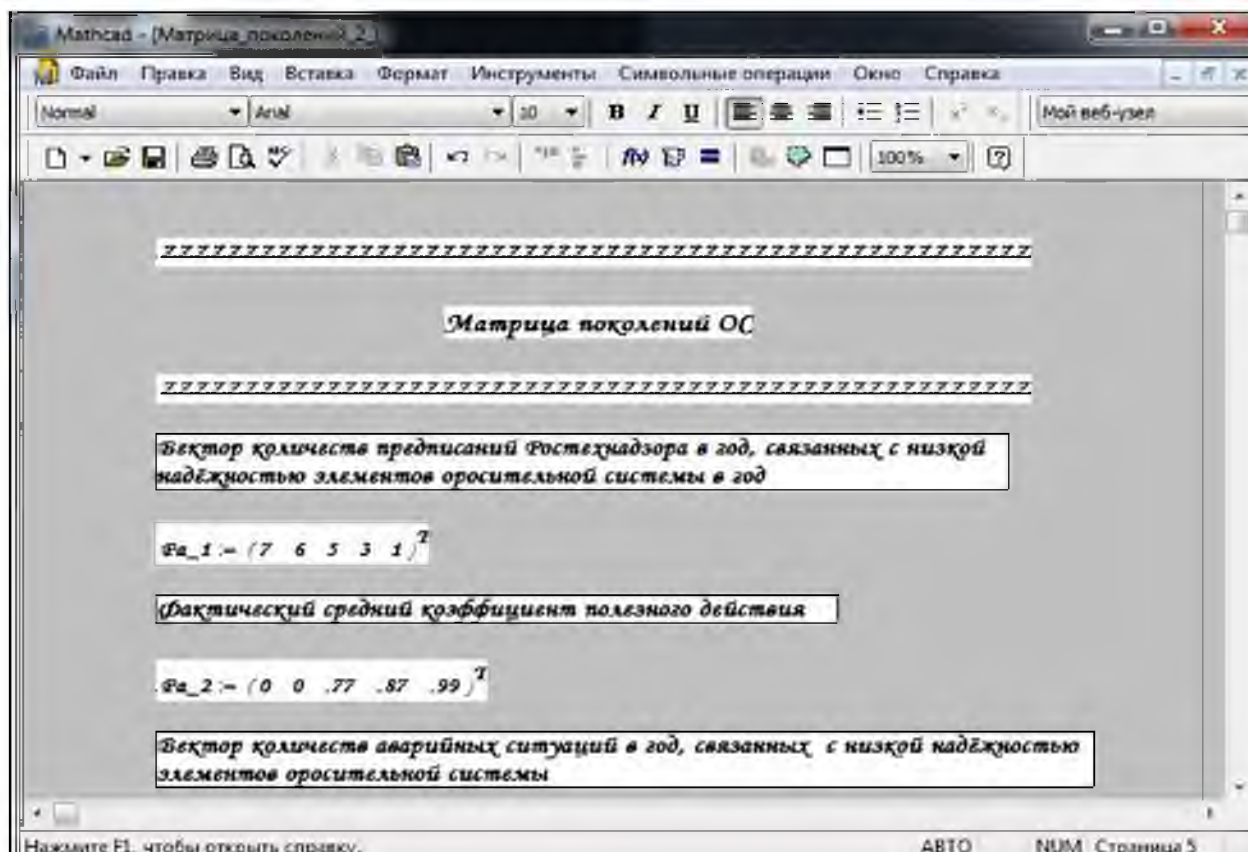


Рисунок 1.3 – Фрагмент документа MathCad с векторами количеств предписаний Ростехнадзора и среднего коэффициента полезного действия

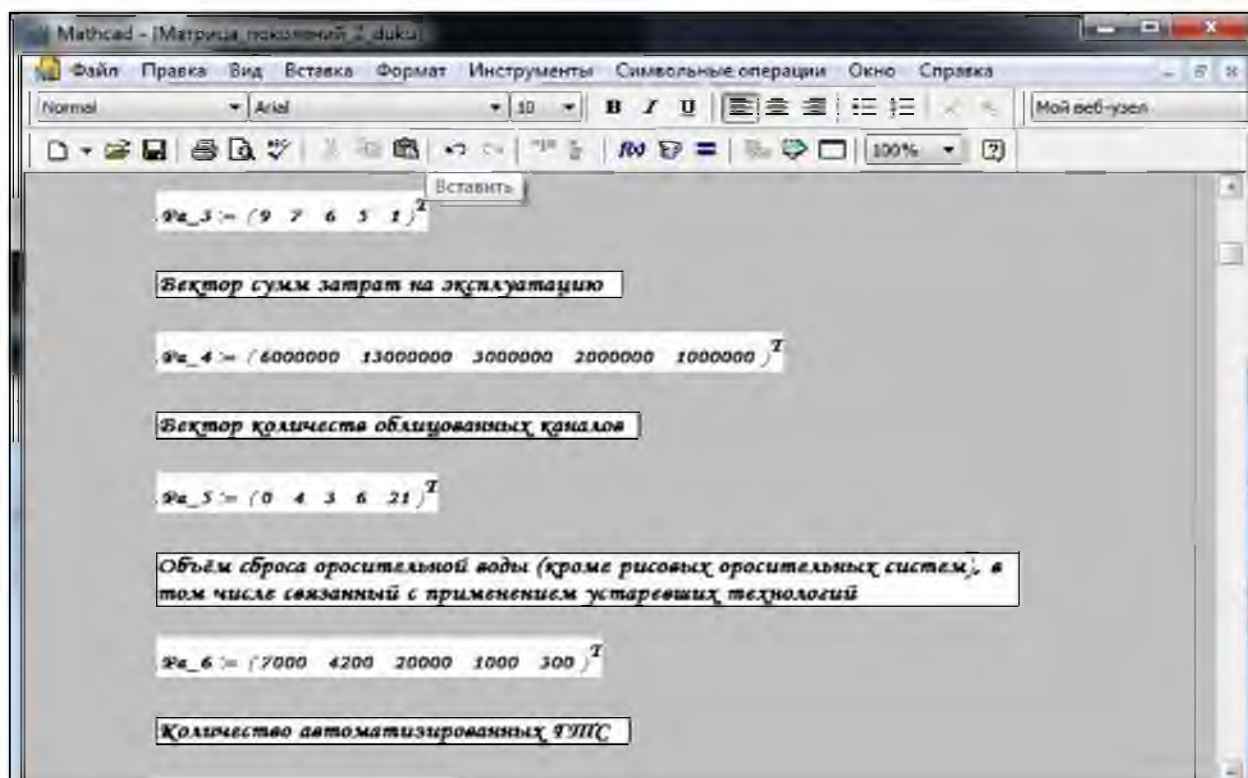


Рисунок 1.4 – Фрагмент рабочей области документа MathCad с векторами количеств аварийных ситуаций в год, сумм затрат на эксплуатацию, объемов сброса оросительной воды

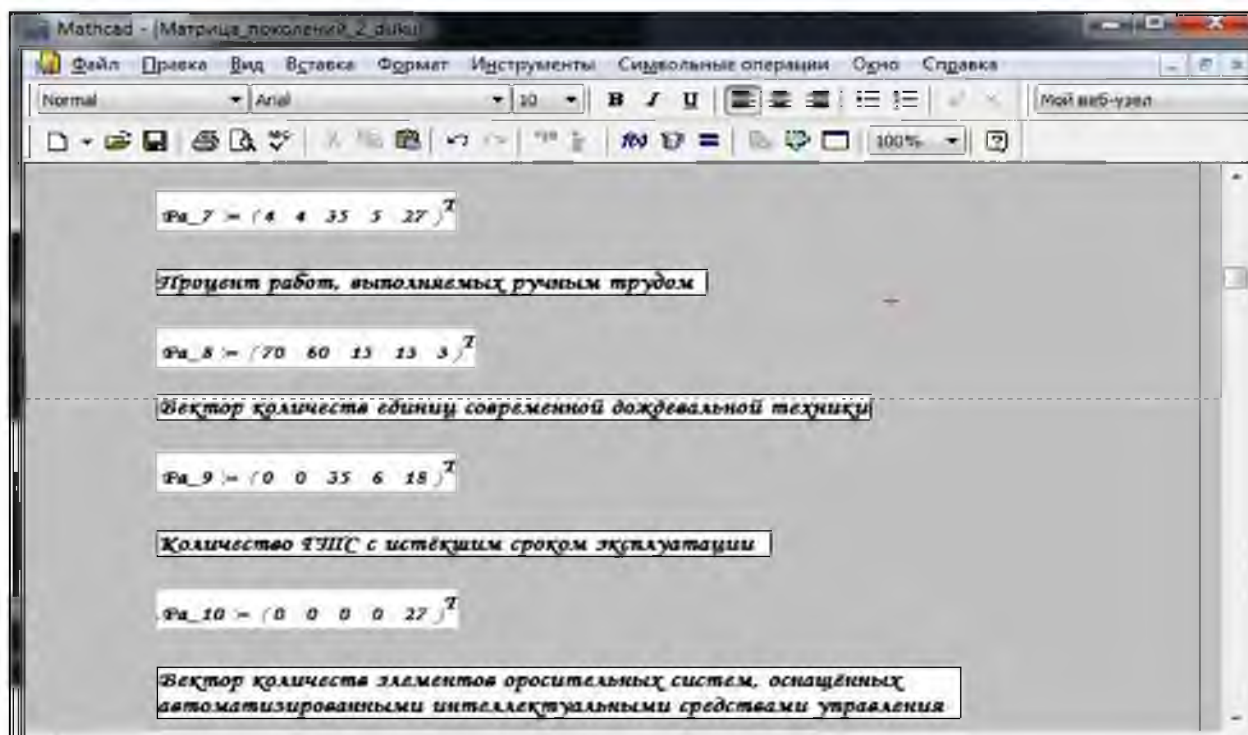


Рисунок 1.5 – Фрагмент рабочей области документа MathCad с векторами количеств автоматизированных ГТС, процентов работ ручного труда, количеств единиц современной дождевальной техники, количеств ГТС с истекшим сроком эксплуатации

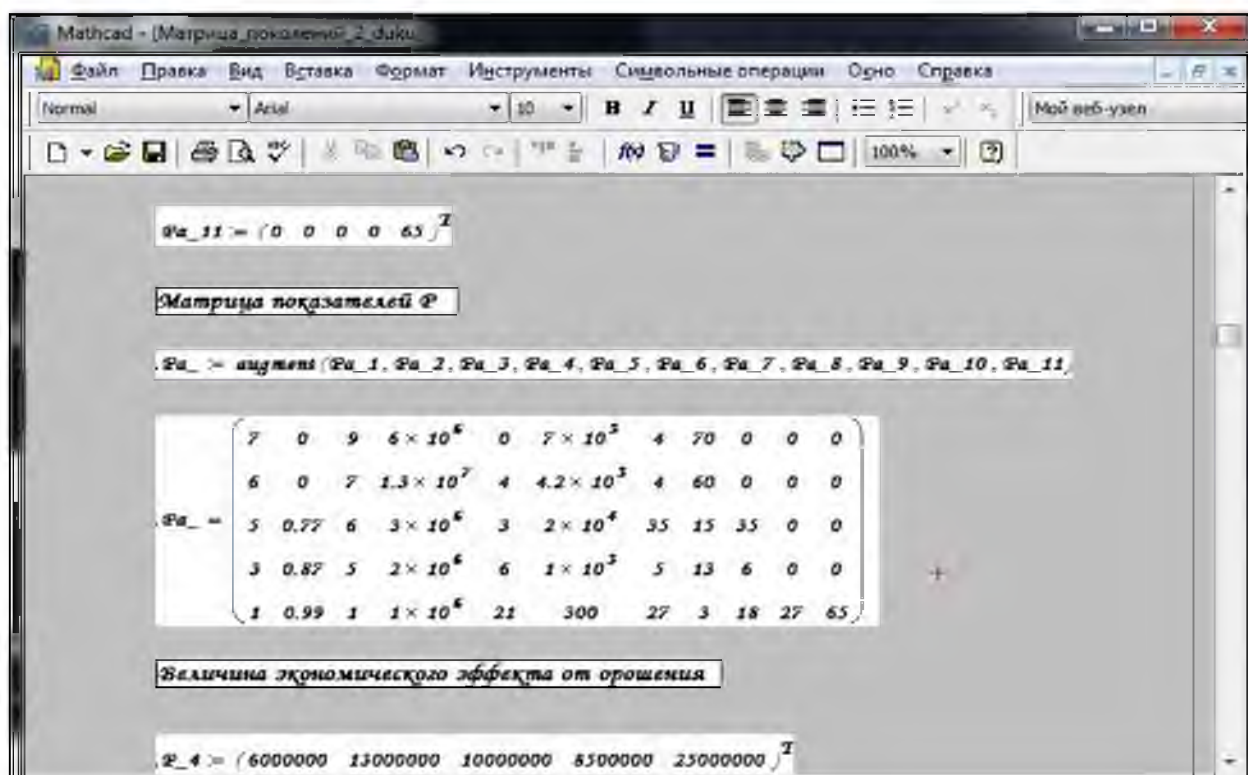


Рисунок 1.6 – Фрагмент рабочей области документа MathCad с векторами количеств элементов оросительных систем, оснащенных автоматизированными интеллектуальными средствами управления, величин экономического эффекта от орошения, сводной матрицей этих параметров



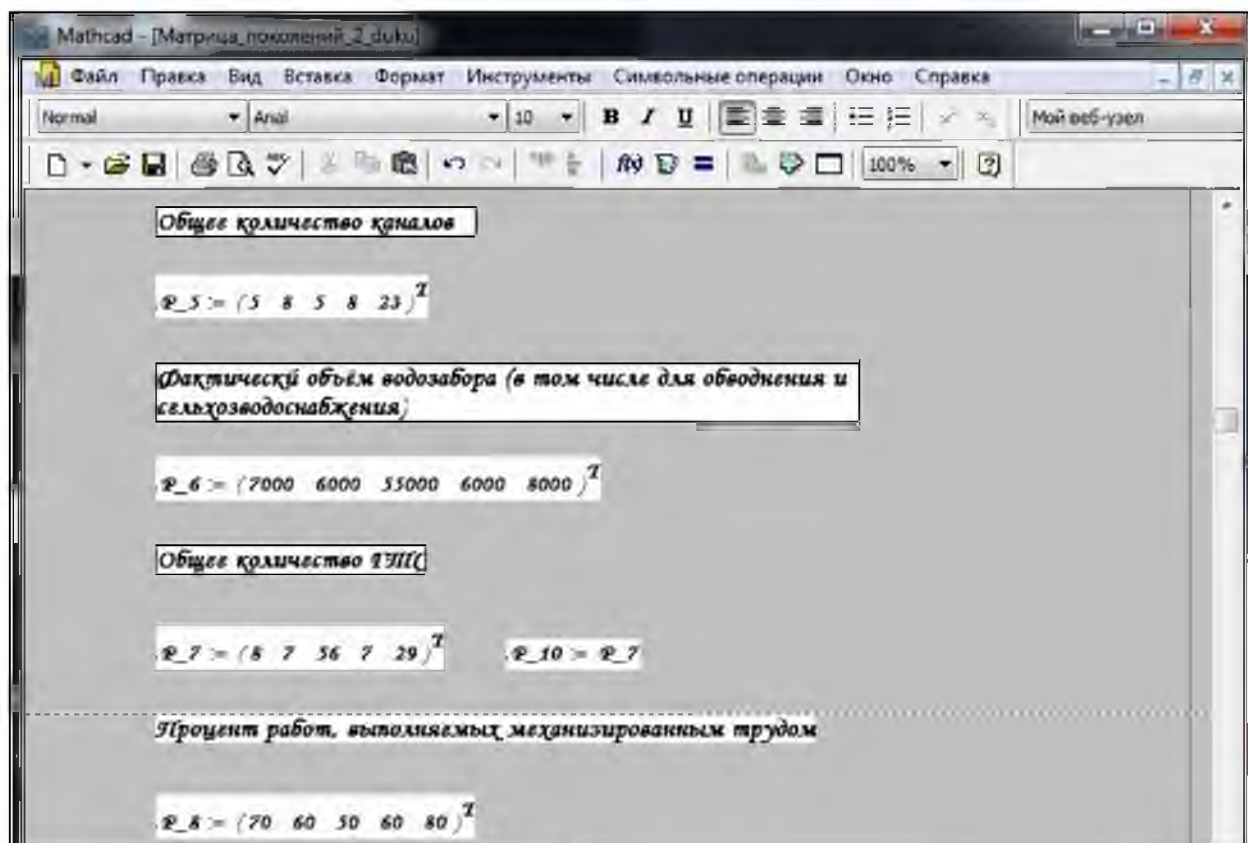


Рисунок 1.7 – Фрагмент рабочей области документа MathCad с векторами количеств каналов, фактических объемов водозаборов, общих количеств ГТС, процентов работ механизированного труда

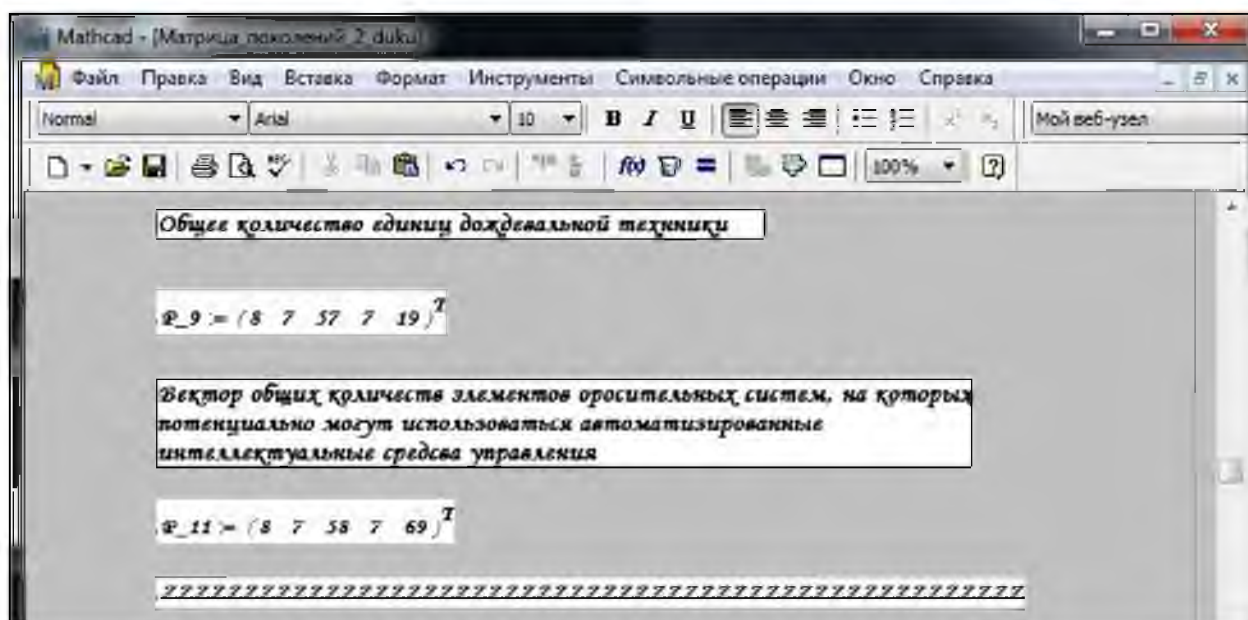


Рисунок 1.8 – Фрагмент рабочей области документа MathCad с векторами общих количеств единиц дождевальной техники, общих количеств элементов оросительных систем, на которых потенциально могут использоваться автоматизированные интеллектуальные средства управления

Рисунки 1.9-1.14 и 1.16-1.17 содержат расчетные соотношения для показателей оросительных систем пяти поколений.

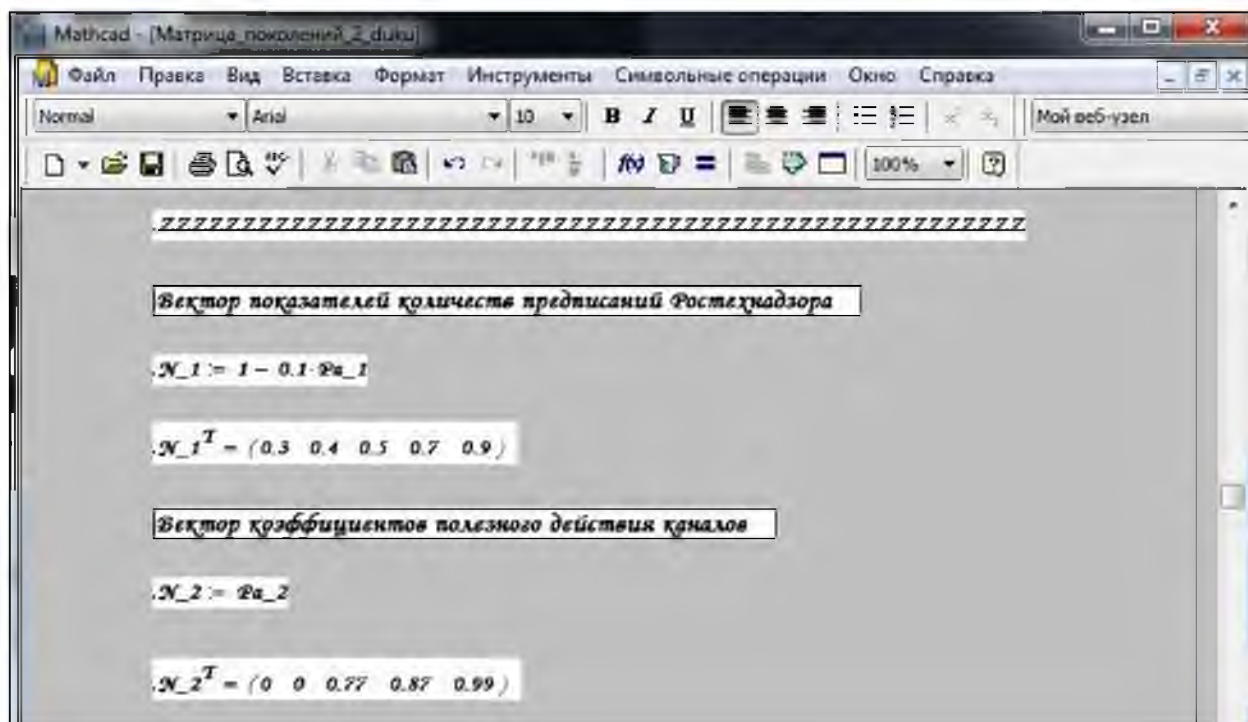


Рисунок 1.9 – Часть рабочей области документа MathCad с расчетными соотношениями для векторов показателей количества предписаний Ростехнадзора, коэффициентов полезного действия каналов

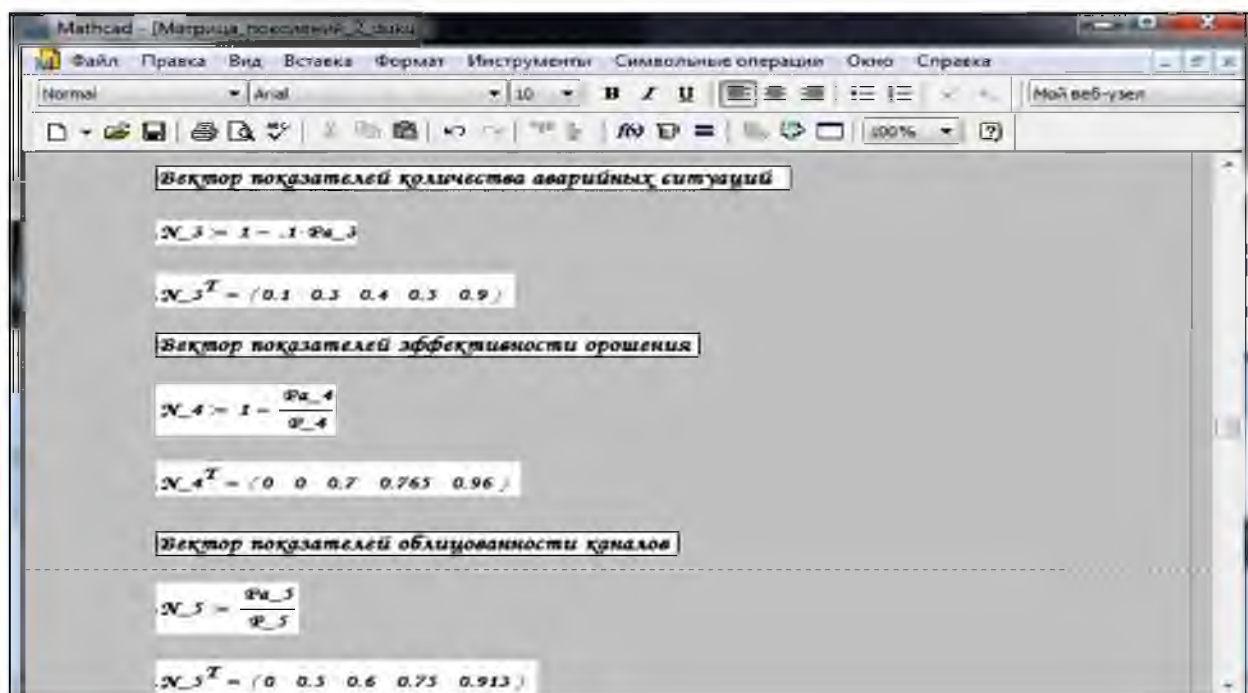


Рисунок 1.10 – Часть рабочей области документа MathCad с векторами показателей количества аварийных ситуаций, показателей эффективности орошения, показателей облицованности каналов



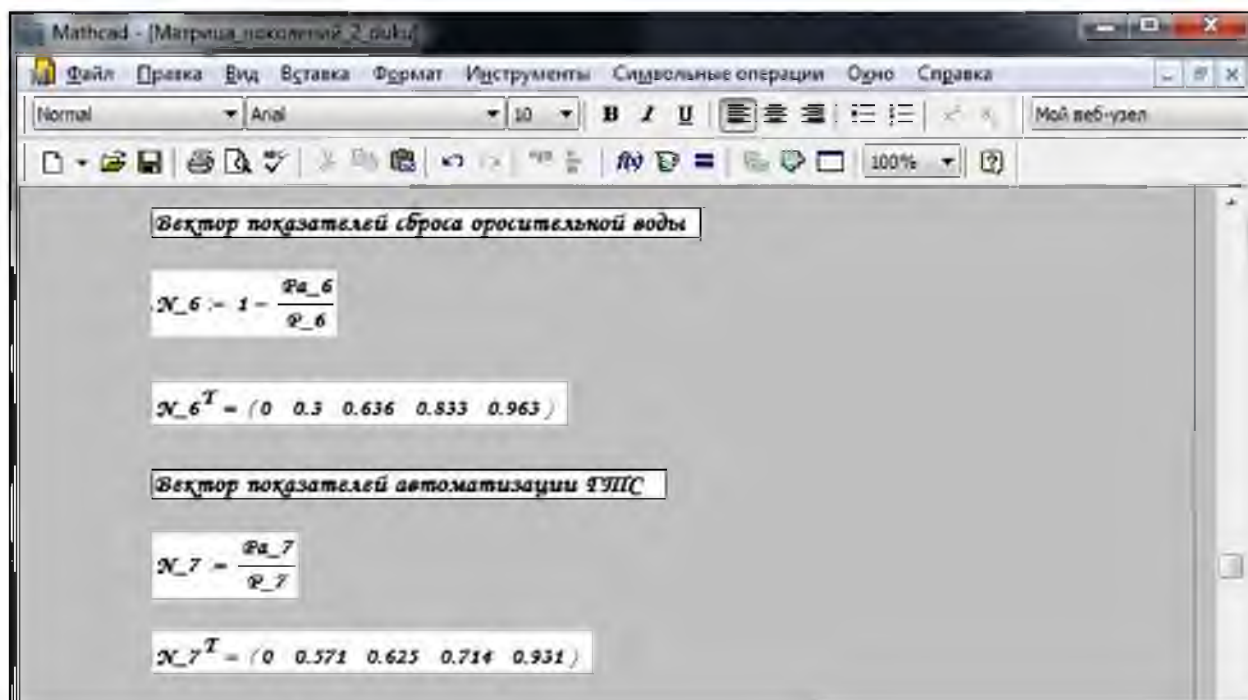


Рисунок 1.11 – Фрагмент рабочей области документа MathCad с расчетными соотношениями для векторов показателей сброса оросительной воды, показателей автоматизации ГТС

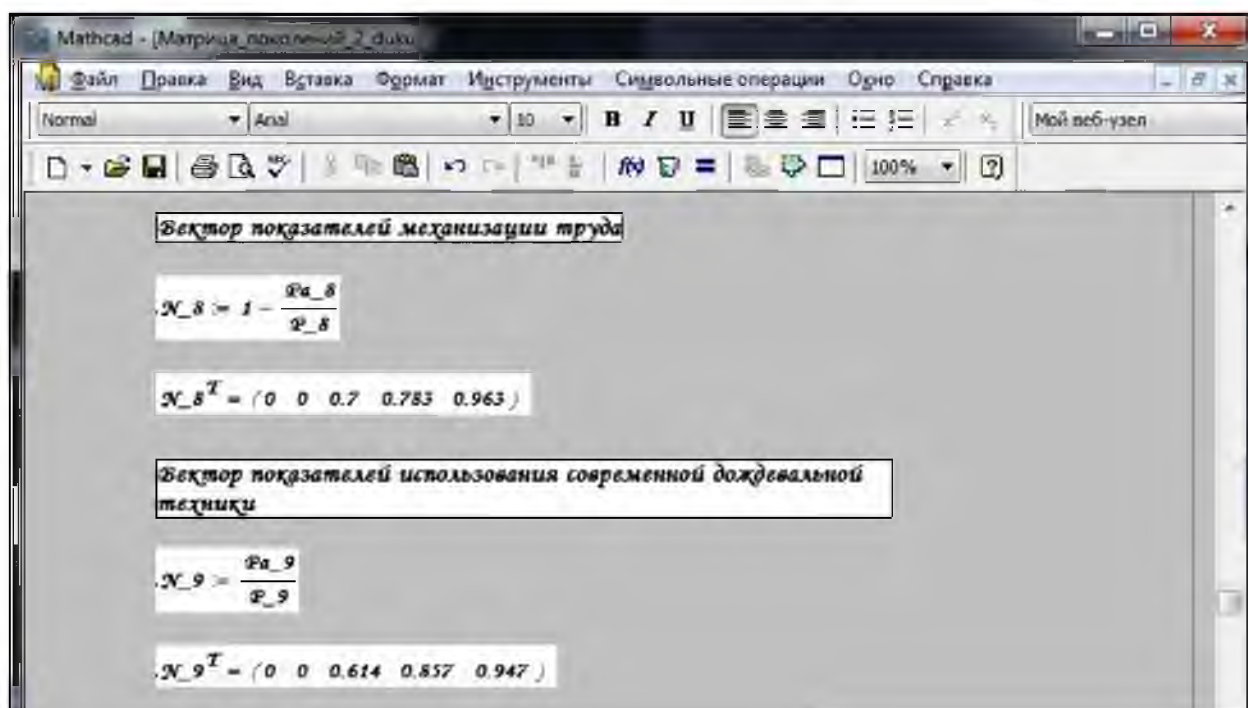


Рисунок 1.12 – Фрагмент рабочей области документа MathCad с расчетными соотношениями для векторов показателей механизации труда, показателей использования современной дождевальной техники

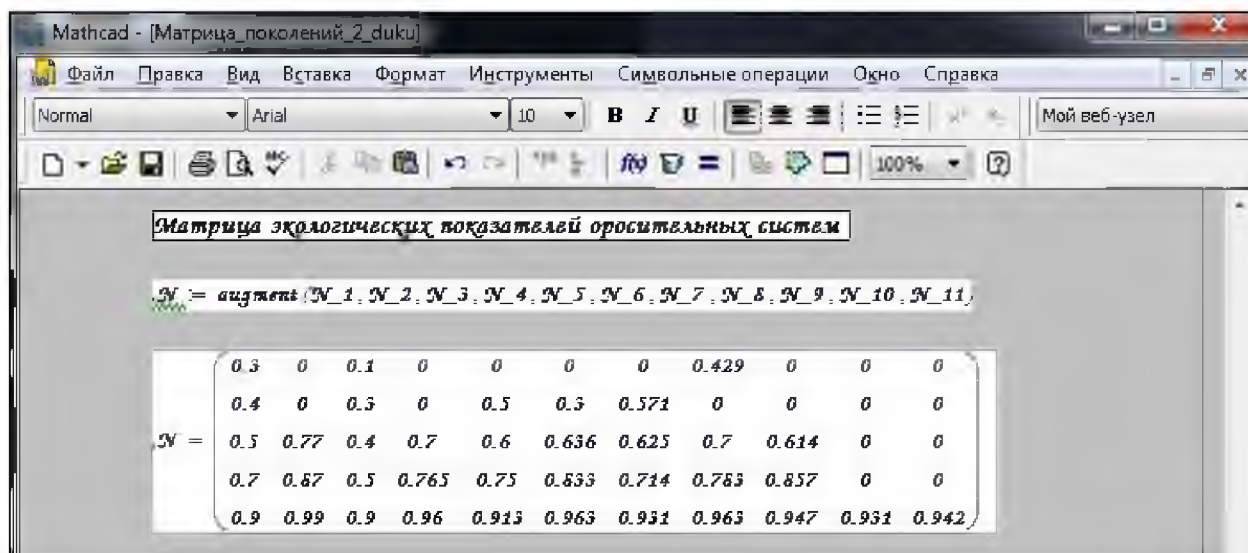


Рисунок 1.13 – Фрагмент рабочей области документа MathCad с расчетными соотношениями для векторов показателей эксплуатации ГТС с истекшим сроком, показателей оснащения оросительных систем автоматизированными интеллектуальными средствами управления

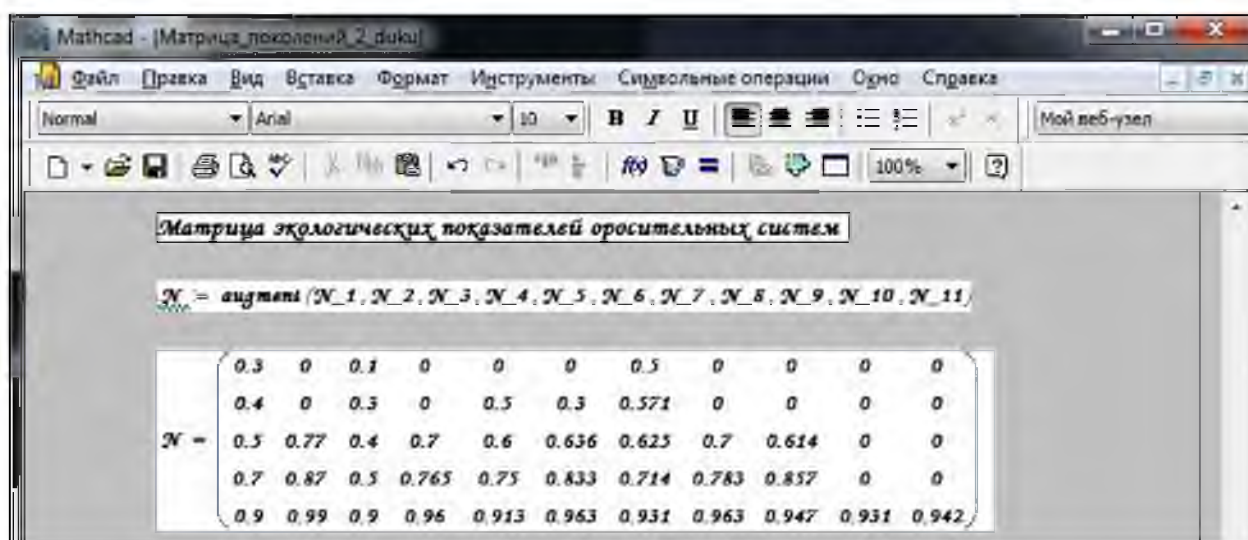


Рисунок 1.14 – Фрагмент рабочей области документа MathCad с матрицей экологических показателей пяти поколений оросительных систем

Рисунок 1.15 представляет собой поверхность, построенную благодаря матрице экологических показателей по всем поколениям оросительных систем.

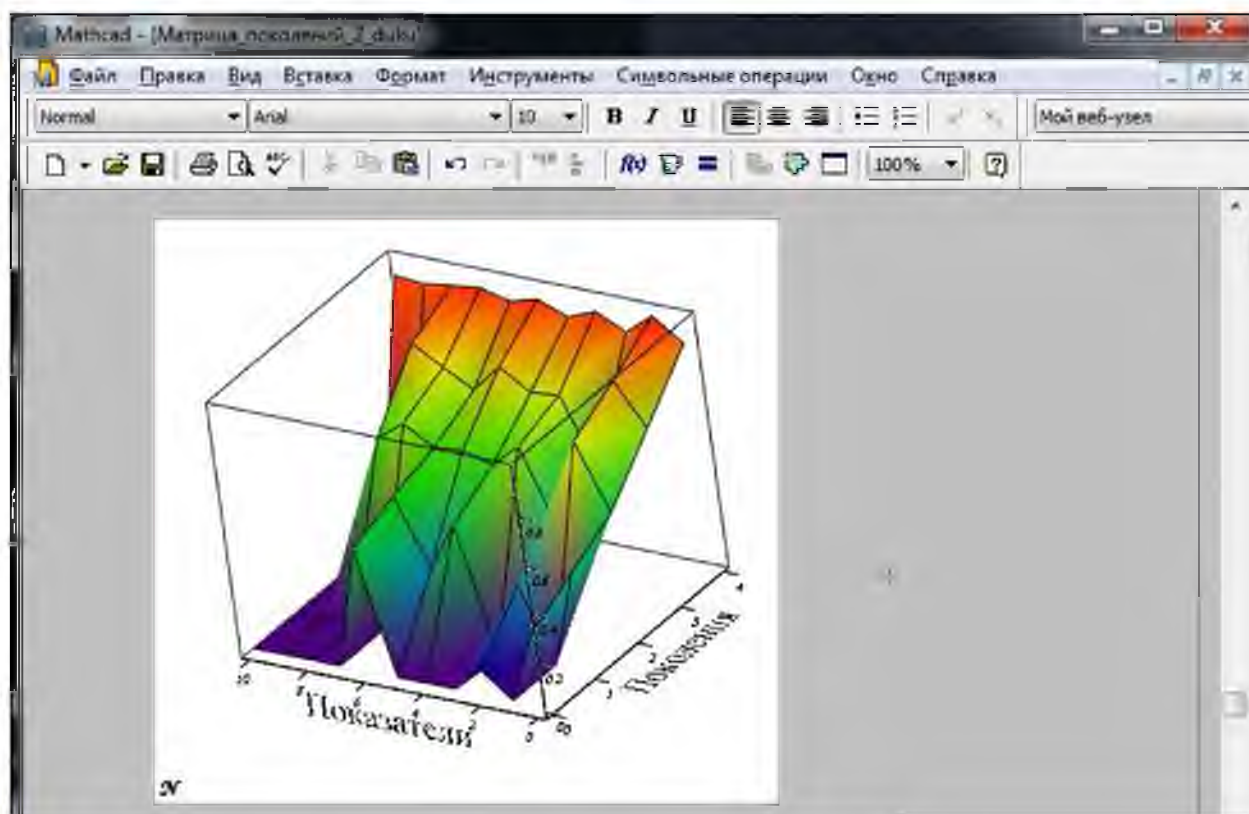


Рисунок 1.15 – Фрагмент рабочей области документа MathCad с поверхностью значений показателей в зависимости от номера поколения и номера показателя

Обобщенный количественный показатель технического уровня оросительной системы

$$N_{0,0} := \sqrt[3]{N_{0,0} \cdot N_{0,2} \cdot N_{0,6}}$$

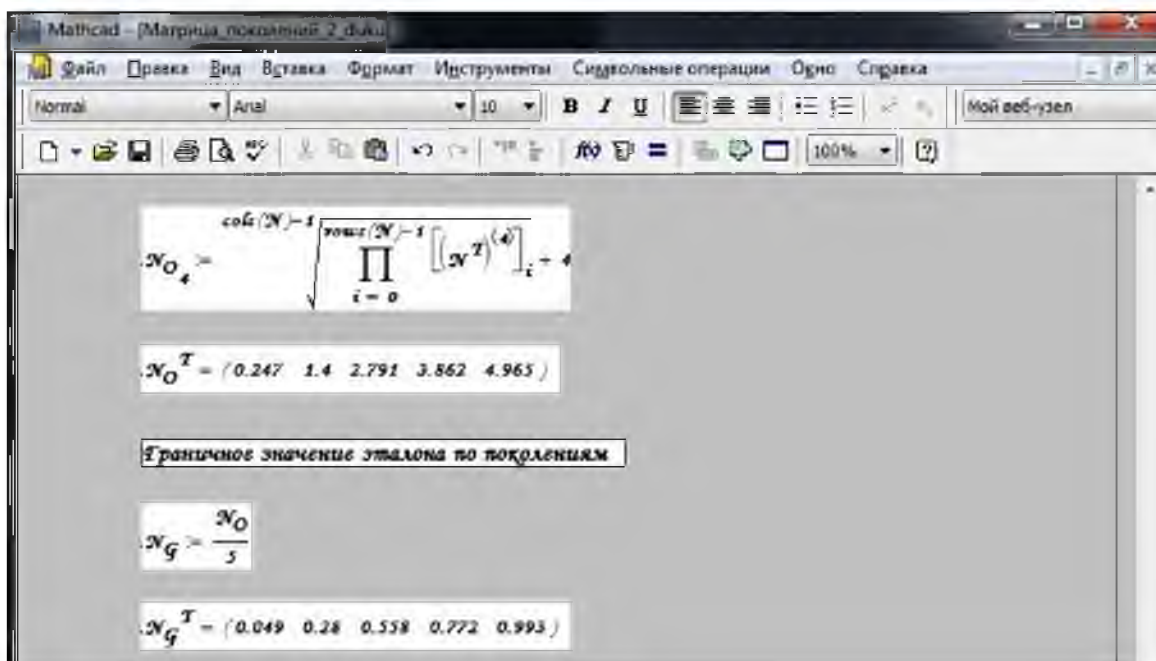
$$N_{0,1} := \sqrt[3]{N_{1,0} \cdot N_{1,2} \cdot N_{1,4} \cdot N_{1,5} \cdot N_{1,6} + 1}$$

$$N_{0,2} := \sqrt{\frac{\cos(N) - 3}{\cos(N) - 3} \prod_{i=0}^{\lfloor \frac{\cos(N) - 3}{2} \rfloor} [N^i]_{i+2}}$$

$$N_{0,3} := \sqrt{\frac{\cos(N) - 3}{\cos(N) - 3} \prod_{i=0}^{\lfloor \frac{\cos(N) - 3}{2} \rfloor} [N^i]_{i+3}}$$

Рисунок 1.16 – Часть рабочей области документа MathCad с расчетными соотношениями для обобщенных показателей технического уровня оросительной системы I-IV поколений





**Рисунок 1.17 – Часть рабочей области документа MathCad с расчетными соотношениями для обобщенного количественного показателя технического уровня оросительных систем V поколения и вектора граничных значений эталона по всем поколениям оросительных систем**

Проведя аналогичным образом математический и графоаналитический анализ по всему спектру оросительных систем, стало возможно построить теоретическую шкалу развития поколений оросительных систем (рисунок 1.18) в зависимости от изменения технического уровня и роста числа показателей, которые его характеризуют.

Таким образом, при повышении технического уровня ОС практически всегда приходится решать задачи, в которых нельзя ограничиться для выбора параметров одним критерием. Такого рода задачи возникают в процессе проектирования технических и технико-экономических систем весьма часто и считаются наиболее сложными. На практике часто стараются избежать многокритериальных задач, сводя их к однокритериальным. Однако, это чаще всего приводит к решению задачи, неадекватной исходной, а попытки последующей оптимизации системы оказываются безрезультатными. Например, бессмысленное проектирование ОС нового уровня при ограничении лишь критерием максимизации прибыли скорее всего не позволит обеспечить выполнение заявленной миссии. Тем более невозможно, проектируя локальную ОС (например, орошаемый участок), исходить, например, лишь из критерия минимизации энергопотребления или максимизации объемов производства.

В связи с этим для практического использования в проектировании ОС нового поколения заслуживает внимания метод Соболя-Статникова [29]. Особенность предлагаемого метода – систематический просмотр многомерных областей.

Модель ОС зависит от параметров  $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ , характеризующих технический уровень, которые могут быть как размерными, так и безразмерными. Под пространством параметров понимается  $n$ -мерное пространство, состоящее из точек  $A_p$  с дискретными координатами  $(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ . В пространстве параметров вводят параметрические и функциональные ограничения.

Параметрические ограничения составляют выражения

$$\alpha_j^* \leq \alpha_j \leq \alpha_j^{**}; j=1, n,$$

где  $\alpha_j^*, \alpha_j^{**}$  – нижние и верхние границы параметра.

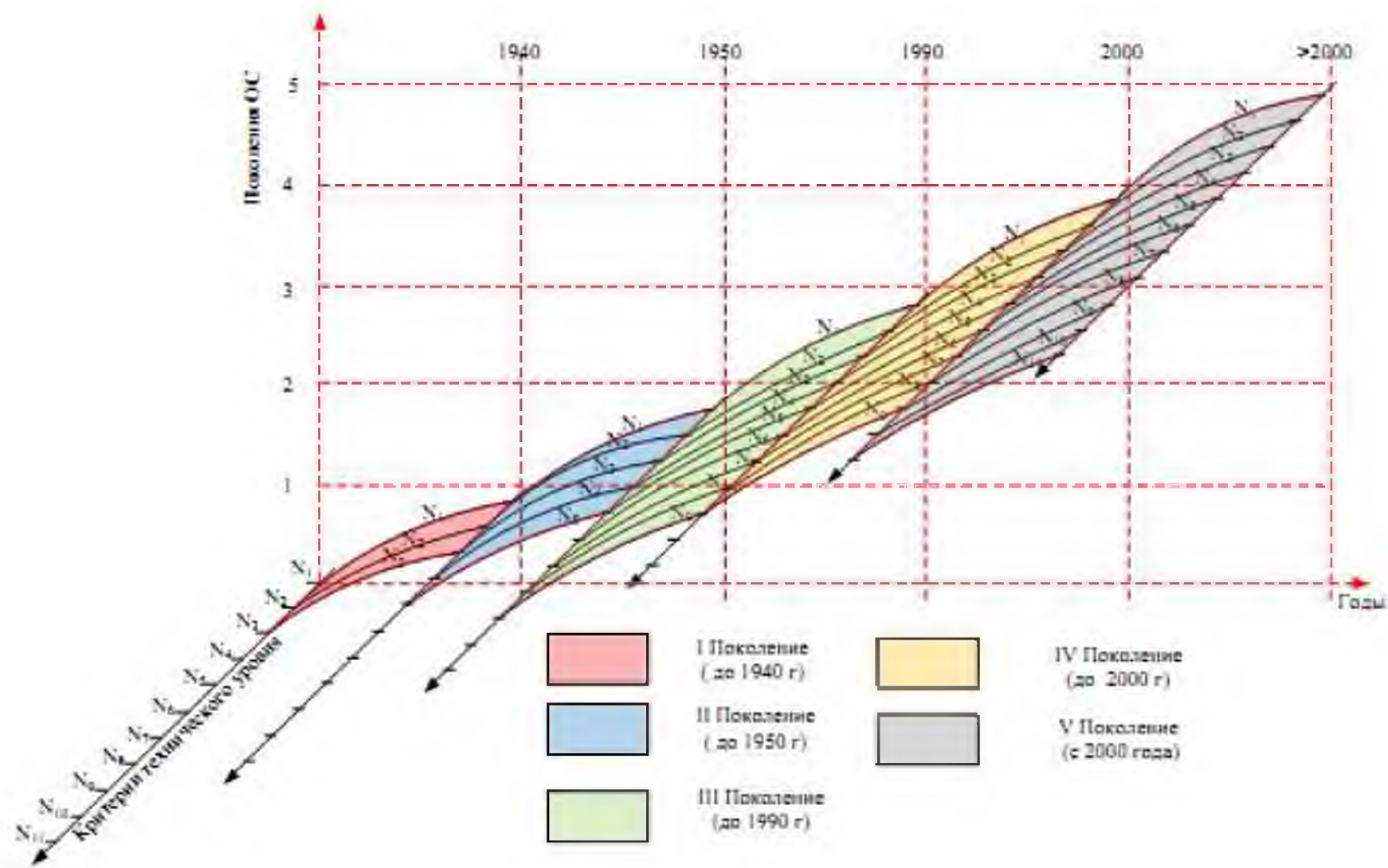


Рисунок 1.18 – Шкала развития поколений оросительных систем, выделенная по суммарным значениям удельных величин показателей значимости

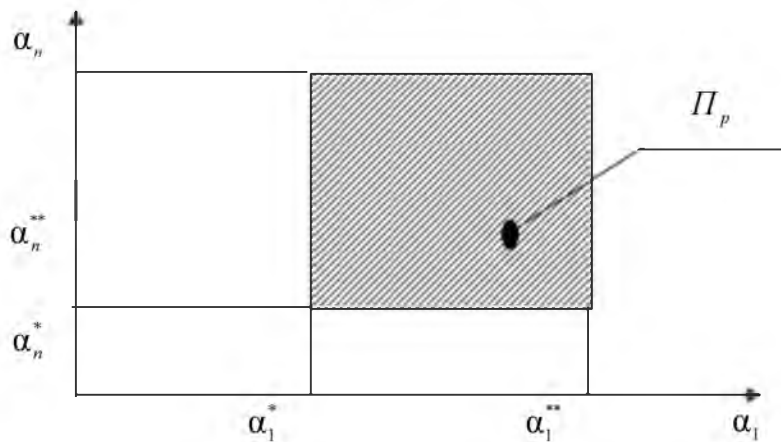
Функциональные ограничения в общем виде соответствуют выражению:

$$c_e^* \leq f_e(A_p) \leq c_e^{**}; e=\overline{1,t},$$

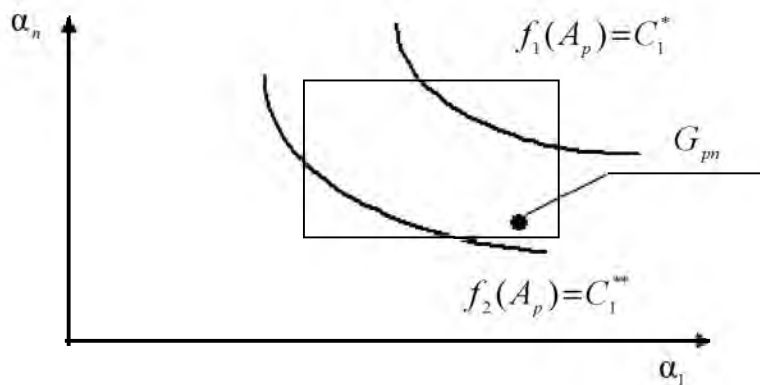
где  $f_e(A_p)$  – некоторые функции от параметров  $A_p$  ( $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ ), которые могут быть заданы явно, или функциональные зависимости от интегральных кривых дифференциальных уравнений.

Предполагается, что  $f_e(A_p)$  непрерывны в пространстве параметров. Обозначим область, принадлежащую  $\Pi_p$  и ограниченную  $f_e(A_p)$   $G_p = \{A_p | (1), (2)\}$ . Графическое изображение области  $G_p$  представлено на рисунках 1.19-1.20. Критерии качества представляют характеристики системы, которые связаны с ее качеством монотонной зависимостью  $\Phi_1(A_p), \dots, \Phi_k(A_p)$ . Если  $\Phi_v(A_p)$  стремятся минимизировать, функции  $\Phi_v(A_p)$  предполагаются непрерывными в  $\Pi_p$ ; необходимо ввести критериальное ограничение:

$$\Phi_v(A) \leq \Phi_v^{**}; v=\overline{1,k}.$$



**Рисунок 1.19 – Пространство параметров ОС в условиях параметрических ограничений**

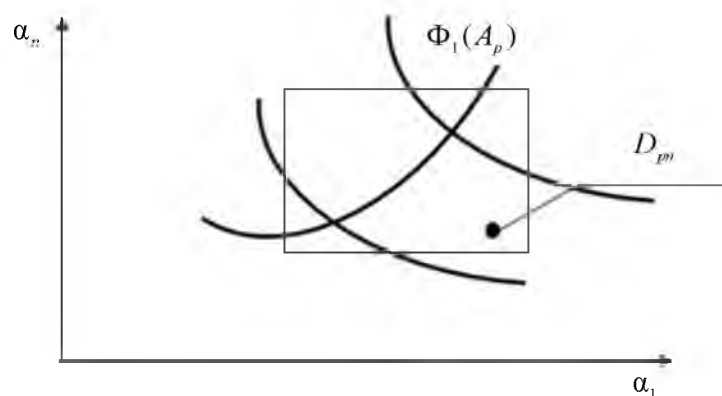


**Рисунок 1.20 – Пространство параметров ОС в условиях параметрических и функциональных ограничений**

Область пространства параметров, удовлетворяющая всем обозначенным видам ограничений:

$$D_p = \{A_p | (1), (2), (3)\}$$

представлена на рисунке 1.21.



**Рисунок 1.21 – Пространство параметров ОС в условиях параметрических, функциональных и критериальных ограничений**

Решение задачи в этом случае сводится к нахождению точки  $A_p$  в области  $D_p$  такой, что:

$$\Phi(A_p) = \min_{A_p \in D_p} \Phi(A_p).$$

Основная трудность состоит в выборе критериальных ограничений  $\Phi_y^{**}$  и в обеспечении множества допустимых точек. Обоснованный выбор критериальных ограничений невозможен без предварительного исследования системы. При этом необходимо определить возможности системы по каждому из критериев области  $G_p$  и, в частности, представить себе диапазон изменения каждого из критериев. В этом случае целесообразно применять диалоговый алгоритм исследования (зондирования) пространства параметров ОС особенно в пограничной зоне поколений.

Попробуем пояснить сказанное на следующем примере. Известно, что ведущим фактором интенсификации и обеспечения конкурентоспособности производства в орошаемом секторе АПК будет уровень производительности труда при орошении, который необходимо повысить в 3-4 раза. О достижимости такого показателя свидетельствует опыт сельского хозяйства Канады, с которым аграрный комплекс России находится в аналогичных почвенно-климатических поясах.

Долгосрочной стратегической целью данного направления является повышение уровня производительности труда в сельском хозяйстве до показателей, обеспечивающих занятость в аграрном производстве не более 5-7 % трудоспособного населения страны при достижении среднемировых показателей продуктивности орошаемых сельскохозяйственных культур и устойчивого расширенного воспроизводства.

На первом этапе необходимо ежегодно восстанавливать орошаемые площади на 3-4 %, повышать при этом продуктивность сельскохозяйственных культур на 4-5 %. В дальнейшем развитие орошаемого сектора АПК будет протекать в основном с использованием факторов интенсивности освоения новых технологий, стимулирования и повышения качества труда и т. д.

Производство товарной продукции растениеводства (картофеля и овощей) с использованием примитивных способов полива, развитое в личных подсобных хозяйствах, должно постепенно заменяться на производство их в крупных высокорентабельных индустриальных сельскохозяйственных предприятиях с использованием поливных комплексов и строгом учете экологических факторов.

Модель построения инженерно-технологической сферы в стратегии развития и ускоренного расширенного воспроизводства сельского хозяйства состоит из следующих приоритетных блоков:

- первый: создание отечественной высокопроизводительной, надежной поливной техники четвертого поколения и формирование парка дождевальных машин

для новой технологической и экономической стратегии;

- второй: формирование машинно-технологической базы орошаемого сектора АПК, соответствующей стратегическим целям агропродовольственной политики – введение высокоэффективных технологий орошения, оснащение их техникой нового поколения при должной подготовке кадров;

- третий: Формирование и освоение стимулирующей инвестиционной политики при проектировании, строительстве и эксплуатации ОС четвертого поколения;

- четвертый: Освоение производством высокоэффективной системы динамического регулирования всеми технологическими процессами на ОС;

- пятый: Формирование стимулирующей технической инфраструктуры информационного сервиса.

Для реализации данной модели могут быть использованы три вида возможных сценариев развития, предложенные в «Прогнозе развития агропромышленного производства Российской Федерации на период до 2020 г.»:

1 Либеральный – дальнейшая либерализация внешней торговли продовольствием и рост внутренних цен на энергоносители, отказ от увеличения государственного субсидирования производства и приобретения поливной техники по сравнению с уровнем последних лет. В итоге: дальнейшее усугубление тяжелого экономического положения большинства сельских товаропроизводителей, зависимость изменения уровня потребления продуктов питания за счет импорта, ослабление продовольственной безопасности страны. Для либерального сценария типично и массовое вовлечение на рынок поливной техники транснациональных машиностроительных компаний, которые при отсутствии таможенных ограничений могут окончательно подавить ослабленное отечественное сельскохозяйственное машиностроение.

2 Максимальная степень самоудовлетворения, хозяйственной обособленности страны: введение жестких тарифных и нетарифных ограничений в отношении импорта продовольствия, сельскохозяйственной, в том числе поливной техники, технологий, сортов и других товаров, резкое увеличение бюджетных субсидий сельскому хозяйству на компенсацию уменьшения потребления продовольствия из-за сокращения импорта. В итоге: высокий уровень продовольственной безопасности страны, но неэффективное использование ресурсов и не полное удовлетворение потребностей в продовольствии.

3 Оптимистический – предусматривает стабильную, гибкую и системную государственную поддержку сельскохозяйственного производства, направленную на обеспечение восприимчивости его к использованию достижений научно-технического прогресса и достаточной доходности сельских товаропроизводителей. Одновременно государство способствует формированию эквивалентных межотраслевых отношений сельского хозяйства с другими отраслями экономики страны, внутриотраслевых экономических отношений в АПК на принципах распределения доходов от конечного продукта пропорционально реальному вкладу партнеров через систему закупочных, оптовых и розничных цен, созданию доступной для основной массы товаропроизводителей системы кредитования.

Этот сценарий предусматривает динамичное повышение инвестиций в сельское хозяйство, распределение их в зависимости от отраслевой и территориальной эффективности производства, расширение международных торговых связей, прежде всего, со странами СНГ, противодействие демпингу иностранной сельскохозяйственной продукции. В итоге достигается первоочередная цель развития сельского хозяйства – восстановление сельскохозяйственного производства и снижение уровня продовольственной и технической зависимости страны от импорта при постепенном повышении среднедушевого потребления населением продуктов питания отечественного производства, а также рост рентабельности сельскохозяйственного производства и улучшение социальных условий жизни на селе.



Оптимистический сценарий принимается в качестве основополагающего при разработке программы обновления ОС России. Основанием для этого служит и то обстоятельство, что Правительство Российской Федерации приняло ряд решений, направленных на оказание поддержки сельскому хозяйству. Их осуществление может стать основой стабилизации и развития ОС, решения многих проблем, связанных с повышением технического уровня.

В реализации настоящей программы по этому сценарию выделяются три группы участников:

- первая: квалифицированные сельскохозяйственные товаропроизводители, имеющие ясно выраженную цель, наделенные современными машинно-технологическими ресурсами и программой действий, защищенные на первом этапе развития производства государством на внутреннем рынке от более конкурентоспособных внешних производителей продовольствия и ресурсов (в том числе поливной техники и технологий) и стимулируемые к нововведениям в отечественное сельское хозяйство;

- вторая: Разработчики новых средств производства для сельского хозяйства. В рыночных условиях они обеспечивают разработку технологических проектов эффективного производства сельскохозяйственной продукции на орошаемых землях, создание новой техники и всестороннюю передачу этих знаний сельскохозяйственным товаропроизводителям. Этот интеллектуальный комплекс сельского хозяйства обеспечивается финансированием, в основном, государством и заказчиками;

- третья: Инвесторы – основная фигура предлагаемой программы повышения технического уровня ОС и обновления парка поливной техники в АПК России.

На первых порах особое место отводится государству, которое не только участвует в инвестициях бюджетом, но и стимулирует вовлечение в сельское хозяйство внутренних и внешних инвесторов.

В стратегии обновления парка поливной техники, как главного фактора интенсификации орошаемого сектора сельскохозяйственного производства, возможны две версии его развития.

Первая версия – пессимистическая, в которой сохраняются негативные тенденции в обеспечении орошаемого сектора сельского хозяйства поливной техникой. Эти тенденции характеризуются продолжающимся значительным превышением доли применения устаревших технологий при модернизации ОС над внедрением инноваций. Очевидно, что такое развитие событий неприемлемо для России, поскольку вместо удвоения валового производства сельскохозяйственной продукции на орошаемых землях за 10 лет, как это предусмотрено правительством, произойдет обратное – двукратное его снижение.

Вторая версия – оптимистическая (базовая), которая предусматривает выполнение целевой функции настоящей программы – увеличение числа инновационных разработок используемых для повышения технического уровня ОС по сравнению с настоящим уровнем.

Рост технического уровня ОС по этой версии должен строиться на новой технологической и технической основе.

Из данного примера следует немаловажный вывод о том, что с учетом мирового опыта передовых в научно-техническом отношении стран нецелесообразно модернизировать ОС второго и третьего поколений, так как они не отвечают современным технико-экономическим и экологическим требованиям интенсификации производства. Поэтому экономические стимулы должны быть направлены на ускоренное развитие мощностей для создания ОС четвертого поколения, которые и позволят повысить производительность труда на заявленные 3-4 раза. Тогда ориентиром научно-технических планов НИОКР, реконструкции опытно-экспериментальных баз будет уже создание систем пятого поколения. Для разработки же шестого и последующего поколений важно нацелить опережающие фундаментальные поисковые исследования.