

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

КУЛИКОВА ДАРЬЯ ВЛАДИМИРОВНА

УДК 622:504.4.054

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ СБРОСА
ЗАГРЯЗНЕННОЙ ШАХТНОЙ ВОДЫ В ВОДОЕМЫ НА ОСНОВЕ ЕЕ
ЭФФЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ

Специальность 21.06.01 – экологическая безопасность

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук, профессор
ГОРОВАЯ А.И.

Днепропетровск – 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
РАЗДЕЛ 1. СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ СБРОСА ЗАГРЯЗНЕННОЙ ШАХТНОЙ ВОДЫ И СОЗДАНИЯ СРЕДСТВ ЕЕ ОЧИСТКИ	13
1.1. Анализ основных факторов, формирующих экологическую опасность шахтной воды	13
1.1.1. Установление основных источников загрязнения шахтной воды и факторов, определяющих ее экологическую опасность.....	14
1.1.2. Условия образования твердой фазы загрязнителей шахтной воды и характеристика ее состава.....	18
1.1.3. Экологическая опасность примесей в системе «вода – взвешенное вещество – осадок».....	20
1.2. Анализ механизма воздействия загрязненной шахтной воды на окру- жающую среду (на примере шахты «Степная», Западный Донбасс).....	23
1.2.1. Анализ процесса формирования шахтного водоотлива.....	23
1.2.2. Оценка экологического состояния территории в результате сброса за- грязненной шахтной воды	26
1.3. Анализ существующих методов и средств снижения уровня экологи- ческой опасности сброса загрязненной шахтной воды	29
1.4. Анализ известных подходов к исследованию работы отстойников шахтной воды и возможных путей их усовершенствования	34
1.5. Учет наиболее значимых факторов, влияющих на эффективность очи- стки воды в отстойнике	36
1.6. Постановка цели и задач исследований.....	39
РАЗДЕЛ 2. ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЭКОЛОГИ- ЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ СБРОСА ЗАГРЯЗНЕННОЙ ШАХТНОЙ ВОДЫ...	43
2.1. Исследование уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды по комплексу гидрохимических показателей ее качества	43

2.1.1. Исследование качества шахтной воды дифференциальным методом	45
2.1.2. Исследование качества шахтной воды комплексным методом	54
2.2. Обоснование методики определения степени очистки шахтной воды от взвешенных веществ.....	63
2.2.1. Исследование процесса оседания частиц на физических моделях и выбор критерия подобия их осаждаемости.....	64
2.2.2. Исследование процесса оседания коагулированной взвеси и опреде- ление его параметров	68
2.2.3. Обоснование критериев подобия для физического моделирования го- ризонального отстойника	71
Выводы.....	75
РАЗДЕЛ 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСВЕТЛЕНИЯ ЗАГРЯЗ- НЕННОЙ ШАХТНОЙ ВОДЫ ПО ПРЕДЛОЖЕННОМУ СПОСОБУ	77
3.1. Физическое моделирование течения и оседания взвешенных частиц на действующем макете предлагаемого отстойника шахтной воды	77
3.1.1. Суть технического предложения по усовершенствованию горизон- тального отстойника	77
3.1.2. Вывод расчетных соотношений для определения основных парамет- ров предлагаемого отстойника	81
3.1.3. Исследование характера течения воды в макете и коэффициента ис- пользования объема его проточной части.....	86
3.1.4. Физическое моделирование процесса оседания взвешенных частиц на действующем макете.....	90
3.1.5. Исследование продолжительности выпадения частиц определенной крупности на дно макета по мере увеличения его глубины	96
3.1.6. Вывод зависимости для расчета расстояний, при которых частицы различной крупности выпадут на дно макета.....	98
3.1.7. Расчет технологических показателей предлагаемого отстойника с уче- том обработки шахтной воды коагулянтом.....	103

3.2. Математическое моделирование процесса осветления шахтной воды в предложенном отстойнике	107
3.2.1. Построение математической модели течения воды в отстойнике	107
3.2.2. Построение математической модели массопереноса взвешенных частиц (взвеси) в отстойнике	111
3.2.3. Исследование эффективности очистки шахтной воды в отстойнике по реальным данным водоотлива угольной шахты на математической модели численным методом	114
3.3. Разработка и обоснование технического решения по повышению эффективности очистки шахтной воды от взвешенных веществ.....	116
Выводы	122
РАЗДЕЛ 4. ПРОГНОЗ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СБРОСА ШАХТНОЙ ВОДЫ В ВОДОЕМЫ ПОСЛЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДЛОЖЕННОГО СПОСОБА ЕЕ ОЧИСТКИ	125
4.1. Методика определения рациональных параметров процесса осветления шахтной воды после реализации предложенного способа ее очистки	125
4.2. Эколого-экономическое обоснование эффективности внедрения разработанного технического решения	131
4.3. Оценка снижения уровня экологической опасности сброса шахтной воды после реализации предложенного способа ее очистки	136
4.3.1. Оценка снижения уровня экологической опасности сброса шахтной воды дифференциальным методом после реализации предложенного способа ее очистки	136
4.3.2. Оценка снижения уровня экологической опасности сброса шахтной воды комплексным методом после реализации предложенного способа ее очистки	139
Выводы.....	145
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	146
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	149
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	166

Приложение А. Схема водоотливного комплекса шахты «Степная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»	167
Приложение Б. Среднегодовые значения физико-химических показателей качества шахтной воды угольных предприятий ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» и воды р. Самара на территории промышленной зоны Западного Донбасса	168
Приложение В. Классификации качества воды по комплексу гидрохимических показателей	173
Приложение Г. Результаты исследования уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды комплексным методом	175
Приложение Д. Результаты расчета эколого-экономической эффективности внедрения разработанного технического решения	209
Приложение Е. Протоколы исследования качества шахтной воды до и после реализации предложенного способа ее очистки	217
Приложение Ж. Промежуточные результаты исследования качества шахтной воды после реализации предложенного способа ее очистки	220
Приложение З. Акты внедрения результатов диссертационной работы	222

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Угольная промышленность является мощным техногенным фактором влияния на окружающую природную среду, вызывающим ее негативное преобразование, наиболее чувствительными к которому оказываются поверхностные и подземные воды.

Именно технологии добычи угля, используемые в Западном Донбассе, привели к загрязнению окружающей среды и, прежде всего, к ухудшению качества воды в р. Самара и ее притоках, что значительно снижает уровень экологической безопасности угледобывающего региона. В частности, взвешенные вещества, содержащиеся в шахтной воде, за счет их способности абсорбировать тяжелые металлы, играют существенную роль в загрязнении прилегающих водных объектов. При этом химические вещества изменяют не только качественный состав водоемов, но и представляют повышенную экологическую опасность для гидробионтов и здоровья населения, проживающего на близлежащей к ним территории.

Для повышения уровня экологической безопасности сброса загрязненной шахтной воды в поверхностные водоемы путем удаления из нее грубодисперсных примесей на угольных предприятиях Украины широко применяются горизонтальные отстойники. Эффективность их работы относительно удаления дисперсной фазы, как правило, составляет порядка 30%. При этом удаляются преимущественно грубые фракции, а почти все мелкодисперсные сбрасываются в водоемы. Следовательно, существующие отстойники не отвечают современным требованиям «Правил охраны поверхностных вод от загрязнения оборотными водами», предусматривающими сброс в поверхностные водоемы загрязняющих веществ в количестве, которое не должно превышать их предельно допустимой концентрации. Именно поэтому, дальнейшее повышение эффективности очистки загрязненной шахтной воды, и, тем самым, повышение уровня экологической безопасности ее сброса, связано с удалением тонкодисперсных частиц. Однако методы и технологии, используемые в настоящее время, не позволяют сделать этого. Поэтому необходимо их усовершенствование в направлении интенсификации процесса осе-

дания наиболее мелких взвешенных частиц и, как следствие, повышение уровня экологической безопасности за счет сброса в поверхностные водоемы высокоосветленной шахтной воды. Именно этим и обуславливается актуальность темы диссертационной работы.

В связи с вышеизложенным, в диссертационной работе решалась научная задача, заключающаяся в установлении зависимости уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в поверхностные водоемы предприятиями угольной промышленности от комплекса гидрохимических показателей качества воды.

Связь работы с научными программами, планами, темами.

Научное направление диссертационной работы отвечает "Основным направлениям государственной политики Украины в области охраны окружающей среды, использования природных ресурсов и обеспечения экологической безопасности", утвержденным Верховной Радой Украины 05.03.1998 г., № 188/98-ВР. Базовыми для подготовки диссертации стали научно-исследовательские работы ГВУЗ «Национальный горный университет», в которых автор принимала участие как исполнитель, а именно: "Разработка концепции техногенной безопасности в горном деле как составной части устойчивого развития государства" (№ ДР 0102U000342, 2001-2003 гг.), "Экологическая безопасность в горно-металлургическом комплексе как основа устойчивого эколого-экономического и социального развития Украины (№ ДР 0104U004092, 2004-2007 гг.), "Разработка мероприятий по повышению уровней экологической безопасности объектов топливно-энергетического комплекса" (№ ДР 0112U000342, 2012-2015 гг.), "Экологическое обоснование режима сброса шахтных вод из прудов-накопителей в р. Самара (на примере прудов-накопителей балок Косьминная и Свидовок)" (№ 010308, 2013 г.), "Разработка экологически безопасных технологий ведения горных работ с учетом потребностей в ликвидации и консервации горнодобывающих предприятий" (№ ДР 0115U002301, 2015-2016 гг.).

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является научное обоснование возможного снижения уровня экологической опасности сброса

загрязненной шахтной воды предприятиями угольной промышленности в поверхностные водоемы за счет повышения эффективности ее очистки.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1) проанализированы основные факторы, определяющие экологическую опасность сброса загрязненной шахтной воды предприятиями угольной промышленности в поверхностные водоемы, а также существующие средства снижения указанной опасности;

2) исследован уровень загрязнения шахтной воды, откачиваемой на поверхность угледобывающими предприятиями, и установлена зависимость уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в водоемы от комплекса гидрохимических показателей качества воды;

3) разработаны физическая и математическая модели, необходимые для определения рациональных параметров процесса осветления загрязненной шахтной воды в предложенном горизонтальном отстойнике, что обеспечит снижение содержания механических примесей в воде после ее очистки и уровня экологической опасности ее сброса в поверхностные водоемы;

4) разработаны способ и техническое решение для снижения уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в поверхностные водоемы и обоснованы рациональные параметры процесса осветления шахтной воды;

5) оценен прогнозируемый уровень повышения экологической безопасности сброса загрязненной шахтной воды по комплексу гидрохимических показателей качества воды при внедрении разработанного технического решения.

Объектом исследования является процесс снижения уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в прилегающие поверхностные водоемы при оптимизации гидрохимических показателей ее состава.

Предметом исследования является процесс снижения уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в поверхностные водоемы на основе повышения эффективности ее очистки от взвешенных частиц.

Методы исследования. При выполнении диссертационной работы использовался комплекс научных методов, включающий: анализ и обобщение данных

научно-технической литературы – для оценки гидрохимических показателей качества шахтной воды и уровня экологической опасности ее сброса в поверхностные водоемы; методы гидравлики – для выяснения влияния различных гидравлических факторов на режим работы действующего макета горизонтального отстойника усовершенствованной конструкции; методы физического моделирования процесса оседания взвешенных веществ – для исследования процесса выпадения частиц взвеси в отстойнике предложенной конструкции; методы математического моделирования – для установления закономерностей массопереноса суспензированных веществ в предложенном отстойнике шахтной воды и взаимозависимостей между его конструктивными параметрами и гидравлическими показателями по реальным данным водоотлива угольной шахты; эколого-экономический анализ – для прогноза повышения уровня экологической безопасности сброса шахтной воды в водоемы по комплексу гидрохимических показателей качества воды в разработанном отстойнике и оценки экономической эффективности его внедрения.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Уровень экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в поверхностные водоемы определяется по комплексу гидрохимических показателей ее состава, а также эффективностью ее осветления при отстаивании. Инструментом для оценки состояния поверхностных водоемов в пределах угледобывающих регионов является зависимость качества воды от величин гидрохимических показателей ее состава, использование которой позволяет оценить экологическое состояние близлежащих водных объектов.

2. Снижение уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в близлежащие поверхностные водоемы обеспечивается путем ее осветления по предложенному способу, предусматривающему использование отстойника усовершенствованной конструкции, вследствие чего повышается интенсивность оседания механических примесей в нем, снижается содержание тяжелых металлов в осветленной воде, что позволяет повысить, в конечном результате, эффективность очистки сбрасываемой воды в 3 раза, по сравнению с традиционными технологиями очистки.

Научная новизна полученных результатов:

1) впервые обоснована научная зависимость уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды от параметров процесса ее осветления, позволяющая обосновать предложенный способ снижения содержания загрязняющих веществ в шахтной воде и оценить его эффективность;

2) впервые заложены научные основы для получения аналитических зависимостей глубины оседания частиц взвеси от расстояний, при которых они смогут выпасть в осадок, что позволило определить прогнозируемую эффективность очистки шахтной воды от механических примесей и соответствующую глубину оседания частиц взвеси определенной гидравлической крупности с учетом конструктивных параметров разработанного технического решения для снижения уровня экологической опасности сброса шахтной воды в близлежащие поверхностные водоемы.

3) усовершенствована и теоретически обоснована математическая модель управления экологической безопасностью сброса шахтной воды, позволяющая, в отличие от существующих, оптимизировать параметры процесса ее осветления, при которых повышается эффективность очистки шахтной воды и уровень экологической безопасности ее сброса в близлежащие поверхностные водоемы;

4) получило дальнейшее развитие теоретическое обоснование применения методов оценки уровня загрязнения шахтной воды, откачиваемой на поверхность угледобывающими предприятиями, по гидрохимическим показателям ее состава, что позволило установить зависимость уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды от комплекса гидрохимических показателей качества воды;

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы обеспечивается корректностью постановки решаемых задач, использованием известных методов гидравлики и кинетики выпадения частиц взвеси в отстойнике, методов статистической обработки экспериментальных данных, а также сходимостью результатов натурных экспериментов на действующем макете и математического (численного) моделирования по ре-

альным данным водоотлива угольной шахты, относительные отклонения которых не превышали 20%.

Практическая значимость полученных результатов:

1) разработан способ снижения уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в поверхностные водоемы, что позволяет повысить эффективность ее очистки от механических примесей до 90%, снизить концентрацию ионов тяжелых металлов, а именно, марганца, никеля, свинца, хрома на 10-28%, железа, меди, цинка на 77-93%, за счет их адсорбции на поверхности взвешенных частиц и оседанию на дно и, как следствие, повысить уровень экологической безопасности сброса шахтной воды в близлежащие водные объекты на 62-65%;

2) усовершенствована методика определения рациональных параметров процесса очистки загрязненной шахтной воды при реализации предложенного способа, предусматривающего очистку воды в разработанном горизонтальном отстойнике усовершенствованной конструкции; эта методика позволяет выбрать его основные геометрические параметры, определить прогнозируемую эффективность очистки верхнего слоя шахтной воды в отстойнике с учетом глубины оседания частиц взвеси определенной гидравлической крупности;

3) разработано техническое решение безреагентной очистки промышленных сточных вод разнообразного происхождения, загрязненных механическими примесями полидисперсного состава, методом гравитационного отстаивания в потоке (Патенты Украины на полезную модель № 55988 и на изобретения № 98382).

Реализация результатов исследования. Разработанный способ снижения уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в поверхностные водоемы на основе ее эффективной очистки и усовершенствованная методика определения рациональных параметров процесса осветления шахтной воды при реализации предложенного способа ее очистки включены в план природоохранных мероприятий ПСП «Шахтоуправления Першотравенское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» (справка о внедрении от 05.02.2014 г.) и ДП НВО «Павлоградского химического завода» (акт о внедрении от 19.05.2014 г.).

Личный вклад соискателя заключается в формулировании цели и основных задач исследований, обосновании научных положений. Автором также проведен анализ литературных источников по теме диссертационной работы, обоснованы методы исследования, проведены экспериментальные исследования, статистическая обработка данных и их основной анализ. Разработан способ снижения уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в поверхностные водоемы и рекомендации по определению рациональных параметров процесса осветления шахтной воды при реализации предложенного способа ее очистки.

Апробация результатов диссертации. Основные научные результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались и были одобрены на международных научно-практических конференциях «Экологический интеллект» (Днепропетровск, 2011), «Экономические, экологические и социальные проблемы угольных регионов СНГ» (Краснодон, 2011); международной конференции «Форум горняков» (Днепропетровск, 2013); научно-технической конференции «Актуальные проблемы научно-промышленного комплекса регионов» (Рубежное, 2015); научно-практической конференции «Проблемы строительства, водопользования и экологии» (Днепропетровск, 2015); международном научном симпозиуме «Неделя эколога-2015» (Днепродзержинск, 2015).

Публикации. Основные результаты выполненных в диссертационной работе исследований представлены в 17 научных работах, из них: 9 статей в специализированных изданиях, из которых 4 статьи включены в международную наукометрическую базу Scopus, в том числе 1 статья опубликована в международном сборнике, и 6 – в сборниках материалов научно-практических конференций и 2 патента.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, выводов, списка использованных источников из 181 наименований на 17 страницах и 8 приложений на 58 страницах. Общий объем диссертации составляет 223 страниц, в том числе 35 рисунков и 21 таблица.

РАЗДЕЛ 1

СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ СБРОСА ЗАГРЯЗНЕННОЙ ШАХТНОЙ ВОДЫ И СОЗДАНИЯ СРЕДСТВ ЕЕ ОЧИСТКИ

1.1. Анализ основных факторов, формирующих экологическую опасность шахтной воды

Под экологической опасностью понимают любое изменение параметров функционирования природных, технических и природно-технических систем, приводящее к ухудшению качества компонентов окружающей среды за границы установленных нормативов. Причиной указанных изменений в окружающей среде являются факторы экологической опасности, представляющие собой любой природный и (или) антропогенный (обусловленный деятельностью человека) процесс, явление, приводящее к изменению параметров качества компонентов окружающей среды за границы установленных нормативов.

К производственным факторам экологической опасности относится все, что связано с техногенным загрязнением окружающей среды, негативным воздействием на биосферу и человека в том числе. Основное проявление данного вида факторов заключается в выбросе загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросе загрязняющих веществ со сточными водами, создании сверхнормативных физических полей (шум, вибрация, электромагнитное излучение, радиация и т.д.).

Постоянный приток подземных вод в подготовительные и основные выработки в угольных шахтах обусловил необходимость ее постоянного откачивания на поверхность и сбрасывания после отстаивания в поверхностные водоемы. Сброс шахтной воды представляет угрозу для окружающей среды и населения угледобывающих регионов. Это объясняется большим ее притоком и физико-химическими показателями, которые не отвечают требованиям «Правил охраны поверхностных вод от загрязнения оборотными водами». Поэтому сброс загрязненной шахтной воды в близлежащие поверхностные водоемы представляет эко-

логическую опасность, а автором ставилась задача детального анализа природных и техногенных факторов, обуславливающих экологическую опасность сброса загрязненной шахтной воды предприятиями угольной промышленности в близлежащие водные объекты, а также существующих методов и средств снижения указанной опасности.

1.1.1. Установление основных источников загрязнения шахтной воды и факторов, определяющих ее экологическую опасность

Существует несколько гипотез о происхождении шахтной воды. В настоящее время наибольшее распространение получила инфильтрационная гипотеза, согласно которой основными источниками образования подземных вод на глубинах, на которых ведутся современные горные работы, являются атмосферные осадки и поверхностные воды, фильтрующиеся с поверхности в горные породы [1-3].

По определению Л.Н. Назаровой [4], шахтная вода угольных месторождений – это поверхностные и подземные воды, поступившие в горные выработки при раскрытии и эксплуатации месторождений, которые претерпели определенные изменения в результате контакта с углем и углесодержащими породами.

По характеру водосодержащей среды подземные воды подразделяют на порово-пластовые, трещинно-пластовые, трещинные и карстовые [5]. В практике исследований гидрогеологических условий шахтных полей встречаются все типы перечисленных вод в сложном сочетании, что затрудняет их изучение.

Приток воды, поступающей в горные выработки (то есть обводненность шахт), обусловлен множеством факторов природного и технологического происхождения [3, 6-8]. К природным факторам относят геолого-структурные, гидрогеологические, гидродинамические и климатические условия месторождения, литолого-структурные, физико-механические и химические особенности горных пород. К технологическим – тектоническая нарушенность месторождения, способы его вскрытия, суммарная мощность разрабатываемых пластов и системы их раз-

работки, углы падения, глубина разработки, способы управления кровлей, технологии ведения горных работ и др.

Месторождения полезных ископаемых по степени обводненности были классифицированы в разное время в работах [8-10]. При этом обводненность угольных шахт характеризуется среднегодовым притоком и коэффициентом водообильности, который определяется отношением откачиваемой на поверхность воды к количеству добытого угля за тот же промежуток времени.

При проведении подземных горных работ образуются три вида водопритока: при проходке подготовительных и основных выработок, при очистных работах и из погашенных выработок [11]. В угольных шахтах Украины приток колеблется в широких пределах – от 40 до 1200-1600 м³/час [12]. В Западном Донбассе – 50-1000 м³/ч. Приток шахтной воды на 1 тонну угля составляет от 2 до 20 м³ [13] и уменьшается с увеличением глубины разработки [3].

Следует отметить, что большое количество шахт работает и строится в сложных горно-геологических условиях, где часто происходят прорывы воды в горные выработки. Их источниками являются окружающие или пересекаемые водоносные горные породы, затопленные горные выработки соседних шахт или отработанные участки действующих шахт, поверхностные водоемы, подрабатываемые горными работами, а также ливневые и паводковые воды [14, 15].

На большинстве шахт технологическими причинами увеличения содержания загрязняющих компонентов в шахтной воде являются интенсивное внедрение высокомеханизированных комплексов, приводящих к переизмельчению угольной и породной массы, а также применение смачивателей при пылеподавлении. В результате активного контакта воды с измельченным материалом она насыщается примесями и микрокомпонентами, содержащимися в горной массе, т.е. происходит процесс механического и химического, а, кроме того, бактериального загрязнения.

Действительно, шахтные воды относятся к одним из наиболее опасных в эпидемиологическом отношении видов сточных вод и стоят в одном ряду с хозяйственно-бытовыми и стоками животноводческих комплексов. Содержание общих

колиморфных бактерий в шахтной воде может достигать десятков и сотен тысяч КОЕ/дм³, содержание вирусов – до 100 БОЕ/дм³ [16], вследствие чего шахтные воды являются потенциальным источником патогенного загрязнения природных водных объектов.

Шахтная вода загрязняется на всех стадиях технологического процесса производства. Ее физико-химический состав и свойства весьма разнообразны, существенно изменяются по угольным бассейнам, месторождениям и районам, и формируются под влиянием множества факторов [3, 6, 7, 17-22]. К главным из них относят условия подпитки водоносных горизонтов и интенсивность водообмена, литолого-минералогический состав вмещающих горных пород, свойства угольных пластов, горно-геологические и горно-технические условия, средства механизации выемки угля и проходки подготовительных выработок. К второстепенным – климат, рельеф местности, растительность и др. Эти факторы оказывают влияние на общее солесодержание, микроэлементный состав и рН воды.

На величину загрязнения водоносных горизонтов также влияют фильтрационные свойства грунтов, площадь водосодержащей части поверхностных водоемов, минерализация и количество сточной воды, градиент фильтрационного потока в направлении области разгрузки. В результате, шахтная вода характеризуется повышенной минерализацией и содержит взвешенные вещества [23-25].

Органические загрязнения представлены частицами чистого угля (микрокомпоненты групп витринита и фюзинита), минеральными маслами и другими нефтепродуктами, применяемыми для смазки горных машин и механизмов, среднее содержание которых в шахтной воде составляет 0,5-2 мг/дм³ [6], продуктами жизнедеятельности живых организмов, разложения древесины и другими, основной составной частью которых является углерод. К минеральным загрязнителям относят песчаные и глинистые частицы, минеральные включения углей (кварц, пирит, карбонаты и др.), инертную пыль, а также содержащиеся в шахтной воде растворенные соли, щелочи и кислоты.

Существенным фактором экологической опасности шахтной воды является объем ее откачивания на поверхность. Например, из шахт Западного Донбасса

ежегодно откачивается и сбрасывается в пруды-накопители около 30 млн. м³ высокоминерализованных вод. Кроме того, в р. Самара ежегодно поступает около 90 млн. м³ загрязненных вод из Центрального Донбасса. В результате минерализация речных вод достигла 2-4 г/дм³, а р. Самара превратилась в одну из самых минерализованных рек Украины. По химическому составу в Западном Донбассе распространены сильно солоноватые и соленые воды [12]. При этом минерализация шахтной воды повышается с увеличением глубины разработки, что характерно для Терновской группы шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», где с переходом горных работ на каждый нижележащий горизонт солесодержание увеличивалось на 3-5 г/дм³ [6].

Практически вся шахтная вода в большей или меньшей степени загрязнена взвешенными веществами (в виде мелких частиц угля и породы) [26]. При этом примеси имеют различное физико-дисперсное состояние: взвешенные – отдельные частицы размером более 0,1 мм (грубодисперсная взвесь), коллоидные и растворенные [27]. Концентрация твердых взвешенных веществ в шахтной воде, откачиваемой на поверхность, изменяется от 0,045 до 2-3 г/дм³. Для шахтной воды Донбасса характерно содержание взвесей в пределах 150-550 мг/дм³. При этом размеры взвешенных частиц колеблются от 10 до 90 мкм [11]. Иногда встречаются частицы меньшего и большего размера [12].

Вся шахтная вода содержит значительное количество микроэлементов, включая тяжелые металлы. Обнаружено превышение нормативных значений железа, алюминия, марганца, меди, кобальта, стронция [28-31]. Установлено, что большинство содержащихся в шахтной воде микроэлементов, в отличие от микроэлементов подземных вод, характеризуется повышенной миграционной способностью [32]. Только в ежегодно откачиваемой шахтной воде Западного Донбасса содержится до 114 тонн тяжелых металлов, из которых 23 т ежегодно сбрасывается в воды р. Самара [12].

По степени очистки шахтная вода разделяется на 3 группы, среди которых преобладает группа недостаточно-очищенных и загрязненных вод, сбрасываемых в речные водоемы. Относительное количество таких вод составляет 75,7 % от

суммарного сброса шахтной воды [12].

Таким образом, переход горных работ на более глубокие горизонты приводит к увеличению объемов шахтной воды и ее загрязненности различными веществами. Шахтная вода отличается большим разнообразием химического состава, в большинстве случаев непригодна для питьевого водоснабжения и обладает свойствами, исключающими ее использование в технических целях или сброс в водоемы без предварительной обработки. В конечном итоге, сброс шахтной воды в близлежащие поверхностные водоемы представляет существенную опасность для окружающей среды.

1.1.2. Условия образования твердой фазы загрязнителей шахтной воды и характеристика ее состава

На практике к взвешенным веществам относят суспендированные в водном потоке (водной толще) твердые частицы размером больше 0,45 мкм [33]. Взвешенные в шахтной воде вещества, состоят из зерен угля и размытых сопутствующих горных пород. Интенсивное размокание слабых глинистых и песчаных пород обогащает шахтную воду трудно осаждаемой коллоидной фазой.

Содержание взвешенных веществ в шахтной воде обусловлено: способом вскрытия месторождения; системой разработки; способом управления кровлей; технологией выемки угля и разрушения пород; объемом взрывных и буровых работ с промывкой шпуров и скважин. Кроме того, – способом и средствами транспортировки горных пород и угля, интенсивностью работы оросительных устройств, состоянием водосборников, схемой вентиляции и системами водоотлива шахтной воды, пылевзрывозащитой и др. [3, 6, 11, 14, 34, 35].

Взвешенные нерастворимые включения представлены в шахтной воде в виде грубодисперсных взвесей с размером частиц более 100 мкм, а также тонкодисперсными и коллоидными фракциями с размером частиц соответственно от 100 до 0,1 и от 0,1 до 0,001 мкм [3]. Общее их содержание изменяется по шахтам одного и того же бассейна и месторождения в широких пределах, но обычно не пре-

вышает 1 г/дм^3 [36]. В результате, только шахтами Западного Донбасса в водоприемники сбрасывается до 0,1 тыс. тонн взвешенных веществ, что составляет почти половину объема сточных вод отрасли [12].

Расчет суммарной поверхности частиц угля, добываемого современными выемочными машинами, показал, что 95-97% ее приходится на частицы размером до 0,1 мм, то есть на угольную пыль. Масса же образованной пыли составляет около 0,1% добываемого угля [35]. Установлена взаимосвязь между удельным пылевыделением пластов угля при современных средствах механизации его выемки и содержанием взвешенных веществ в шахтной воде [6].

Дисперсный состав частиц, находящихся в шахтной воде, также зависит от марки добываемого угля. Так, при добыче угля марок К, ОС, Ж, Д, Т, Г, Б характерен следующий фракционный состав: больше 50 мкм – 1,3-30,9%; менее 50 мкм – 69-98,7%; антрациты марок А и ПА больше 50 мкм – 15,7-65,5%; менее 50 мкм – 34,5-84,3% [6]. Содержание в шахтной воде частиц угля изменяется в пределах 58-72,08%, а глинистых – 19,01-34,66% [17]. Причем содержание частиц фюзинита (F), витринита (Vt) и аргиллита (ML), крупностью менее 10 мкм, обуславливающих кинетическую устойчивость взвеси, составляет соответственно 10; 24,5 и 46,5% [3].

Отличительной особенностью шахтной воды, которая затрудняет их очистку, является наличие мелкодисперсных (менее 10 мкм) агрегативно-устойчивых угольных и породных частиц, количество которых может достигать 50-70% от общей массы дисперсной фазы. В целом же, содержание частиц размером менее 50 мкм составляет 99% [11]. Гранулометрический состав шлама шахтной воды Донбасса характеризуется следующим распределением частиц по размерам в мас. %: более 50 мкм – 7-18; от 50 до 10 – 22-77; от 10 до 5 – 15-35; менее 5 мкм – 17-50 [17].

1.1.3. Экологическая опасность примесей в системе «вода – взвешенное вещество – осадок»

В условиях активной антропогенной деятельности загрязнение природных вод тяжелыми металлами стало особо острой проблемой. Как известно, при избыточном попадании в объекты окружающей среды они ведут себя как токсиканты и экотоксиканты. При этом к токсикантам относятся элементы и соединения, оказывающие негативное воздействие на отдельный организм или группу организмов, а экотоксикантами являются элементы или соединения, негативным образом воздействующие не только на отдельные организмы, но и на экосистему в целом. К наиболее опасным загрязнителям относят тяжелые металлы: ртуть, свинец, кадмий, хром, марганец, никель, кобальт, ванадий, медь, железо, цинк, сурьму, а также типичные металлоиды – мышьяк и селен. Они содержатся, как во взвешенном веществе, так и в донных отложениях [37-39].

В воде тяжелые металлы могут находиться в виде частиц различной степени дисперсности. В частности, в виде взвесей и коллоидов, простых или сложных гидратированных катионов и анионов, гидроксокомплексов, низко- и высокомолекулярных комплексных соединений с неорганическими и органическими лигандами различной структуры и прочности, оказывающих различное воздействие на физиологические функции биологических объектов.

При взаимодействии с природной водой и в результате протекания процессов комплексообразования, адсорбции, коагуляции, изменения окислительно-восстановительных (Eh) и кислотно-щелочных (pH) условий происходит трансформация поступивших химических форм металлов и образование устойчивых растворенных форм, которые, в свою очередь, определяют степень токсичности того или иного металла.

Среди абиотических факторов водной среды, влияющих на физиологическую активность, в том числе степень токсичности ионов металлов, можно выделить следующие:

- адсорбция на взвешенных частицах и гидроксидах Fe и Mn;

- образование малорастворимых неорганических соединений (сульфидов, фосфатов, карбонатов и др.) и их выпадение из толщи водной массы в осадок;
- окисление металлов, обладающих несколькими степенями окисления в зависимости от рН и Eh воды (например, Fe, Mn, Cr и др.);
- выпадение и поглощение ионов металлов донными отложениями водоемов;
- рН, жесткость и щелочность воды;
- гидролиз и комплексообразование в условиях природных вод и другие.

При классификации сосуществующих форм металла в воде, в зависимости от размера связанной с ним фракции, принята следующая схема деления: <0,001 мкм – истинно растворенные формы, 0,001-1 мкм – коллоидные формы и >1 мкм – взвешенные формы [40].

Наибольшей токсичностью обладают гидратированные ионы металлов или находящиеся в виде свободных ионных форм, а связанные в комплексы опасны в меньшей мере либо почти безвредны. Поэтому комплексообразование в природных условиях имеет прямое отношение к их токсическому действию [39, 41-46]. Как правило, токсичность металлов резко снижается в присутствии комплексообразователей. Так, в природных поверхностных водах содержатся органические вещества, 80% которых составляют высокоокисленные полимеры (например, гумусовые вещества). Все они являются своего рода реагентами, связывающими ионы металлов в менее токсичные комплексы.

Основополагающее значение для распределения металлов между фазами играет фактор рН среды – водородный показатель, характеризующий кислотность среды. Большинство металлов (Cu^{2+} , Cr^{3+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+}) осаждаются при значениях рН, лежащих обычно в пределах 6-7. Причем осаждение идет в виде оксидов, гидроксидов, карбонатов, сульфидов и фосфатов. Установлено, что снижение рН приводит к уменьшению степени токсичности незакомплексованных ионов металлов [45, 47].

Особое значение имеет рН среды в сочетании с окислительно-восстановительным потенциалом (Eh) для элементов, характеризующихся не-

сколькими степенями окисления, поскольку их токсичность различна. Так, по данным [39, 48, 49], Cr (VI) является более токсичной формой, чем Cr (III). Так как первая форма хрома доминирует в условиях природных вод и более стабильна, то увеличение ее содержания в водной среде может представлять серьезную опасность для гидробионтов.

Важным фактором, влияющим на степень токсичности незакомплексованных ионов металлов, является жесткость воды. Установлено, что увеличение жесткости приводит к снижению токсичности [50, 51].

Среди процессов, определяющих состояние микроэлементов в водной среде, важная роль принадлежит их адсорбции на взвешенных частицах, которая зависит от скорости седиментации взвесей, т.е. косвенно от таких факторов, как размеры и заряд частиц, адсорбирующих ионы металлов. Поэтому содержание тяжелых металлов во взвешенных веществах зависит от дисперсности последних [52-55]. Обычно, содержание металлов в различных гранулометрических фракциях взвеси увеличивается с уменьшением размера фракций из-за увеличения удельной площади поверхности частиц, что способствует увеличению их сорбции на поверхности материала взвеси и выпадению тяжелых металлов из водного раствора.

Наибольший вклад в сорбцию микроэлементов вносят глинистые минералы, в особенности мелкозернистая пелитовая (коллоидная) фракция взвесей ($>0,001$ мм), на которой сильно адсорбируются металлы в виде оксидов и гидроксидов [56-57].

Поверхностный слой адсорбента (коллоидных частиц) имеет отрицательный заряд за счет диссоциации поляризованных молекул воды, что способствует электростатическому взаимодействию с положительно заряженными катионами металлов [58]. Поэтому адсорбционные процессы на взвешенных частицах свойственны для вод с высокими показателями мутности [59-61].

Адсорбция ионов металлов взвешенными частицами и выпадение их в осадок приводит, как правило, к детоксикации. Скорость адсорбции определяется как составом взвесей, так и химической природой элемента. Выявлено, что металлы с

высокой энергией стабилизации кристаллического поля, высоким отрицательным электрическим потенциалом или малым ионным радиусом сравнительно быстро сорбируются из раствора взвешенными и коллоидными частицами и легко связываются в комплексы [62].

Природным сорбентом ионов тяжелых металлов является гидроксид железа. Осаждение металлов на его поверхности происходит как за счет сорбции, так и процессов соосаждения [63]. Он устойчив к воздействию кислот и до довольно низких для природных вод значений $pH=3-4$ может выступать в роли сорбента металлов, в то время как другие минеральные составляющие осадка полностью исчерпали свою сорбционную способность. Большую роль в процессах сорбции металлов из водной толщи также играет процесс образования прочных гуминовых комплексов металлов с нерастворимыми гуминовыми кислотами, входящими в состав взвешенных веществ. Поэтому в случае выпадения ионов металлов в осадок в виде малорастворимых соединений, токсичность воды снижается [64].

Обобщая выполненный анализ экологической опасности примесей в системе «вода – взвешенное вещество – осадок», констатируем, что эффективное удаление частиц взвеси из откачиваемой на поверхность загрязненной шахтной воды способствует снижению уровня экологической опасности ее сброса в близлежащие поверхностные водоемы.

1.2. Анализ механизма воздействия загрязненной шахтной воды на окружающую среду (на примере шахты «Степная», Западный Донбасс)

1.2.1. Анализ процесса формирования шахтного водоотлива

На территории Павлоградско-Петропавловского угленосного района Западного Донбасса добычу угля ведет ПАО «ДТЭК Павлоградуголь». Предприятие осуществляет добычу энергетического и коксующегося углей, при этом основной объем приходится на энергетические угли. В 2012 году объем добычи угля составил 17004,224 тыс. тонн. Промышленные запасы составляют 699,2 млн. тонн, что

при существующем уровне добычи представляет обеспеченность углем на срок 56 лет.

Шахта «Степная», входящая в состав ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» – расположена в городе Першотравенск Днепропетровской области. Шахта работает устойчиво и ритмично при добыче угля на уровне 1250-1360 тыс. тонн в год. Балансовые запасы угля на 01.01.2003 составляют 193,3 млн. тонн. Добывается уголь марки Г (газовый) с зольностью 35,5 % [65, 66].

На шахте «Степная» эксплуатируется многоступенчатая схема водоотлива. Она состоит из двух главных водоотливных установок (на горизонтах 145 м и 210 м), 4 участковых (восточного и западного вентиляционных штреков горизонта 290 м, в околоствольных дворах горизонтов 300 м и 400 м) и трех насосных установок для откачки воды из зумпфов главного и вспомогательного стволов блока №1 и воздухоподающего ствола блока №2.

Суммарный приток воды, поступающий в шахту, (по состоянию на 01.01.03) составлял 300 м³/ч. Вода откачивается на поверхность главной водоотливной установкой по ставам ДУ-250, ДУ-300, проложенным во вспомогательном стволе, и специальным водоотливным скважинам. Принципиальная схема водоотливного комплекса шахты приведена в приложении А.

Водоотливные установки, в соответствии с требованиями «Правил безопасности в угольных шахтах» – ДНАОП 1.30-1.01-00 (п.7.1.1), имеют водосборники емкостью:

- главного водоотлива не менее 4-часового максимального притока шахтной воды без учета заилиения, которое не должно превышать 30% объема;
- участковые на 2-часовой приток.

Водосборники, кроме функций обеспечения безопасности от затопления горных выработок, предназначены для отстаивания взвешенных частиц в шахтной воде. Водосборники периодически очищаются, осевшие взвешенные частицы в вагонетках выдаются на поверхность и далее автотранспортом отвозятся на отвал породы.

Шахтная вода в горных выработках течет по канавкам, в которых тоже про-

исходит оседание взвешенных частиц. Канавки периодически очищаются, собранный ил в вагонетках выдается на поверхность и далее отвозится на отвал породы.

На поверхности шахтная вода по водоотливным ставам, проложенным во вспомогательном стволе и в водоотливных скважинах, поступает в горизонтальный отстойник шахтной воды емкостью 700 м³. Отстойник шахтной воды служит для обеспечения 30-минутного контакта гипохлорита натрия с шахтной водой. Из отстойника шахтная вода насосами перекачивается в пруд балку Косьминная и после осветления, совместно с шахтной водой шахт «Юбилейная» и «Першотравенская», сбрасывается в реку Самару. Сброс шахтной воды осуществляется по напорному коллектору диаметром 600 мм.

Для обеспечения осветления шахтной воды в пруде-отстойнике до санитарных норм, перед сбросом в реку Самару проектом предусмотрено переустройство выпуска шахтной воды в пруд с устройством подводного рассеивающего выпуска. Выпуск располагается на расстоянии 700 м от оси плотины и заглублен на 2 м относительно минимального уровня воды в пруде, но не менее 1-2 м от дна пруда, с целью предупреждения взмучивания осевшего шлама.

Существующий пруд-отстойник шахтной воды емкостью 5,3 млн. м³ был рассчитан на аккумуляцию годового притока шахтной воды в количестве 5,16 млн. м³/год от Першотравенской группы шахт в составе шахт «Юбилейная», «Першотравенская» и «Степная» с опорожнением его емкости в период весеннего половодья в течение 10 суток. В связи с развитием горных работ, происходит постоянное увеличение притока шахтной воды, прогноз которого составляет около 20 млн. м³/год.

Таким образом, пруд-отстойник в балке Косьминная в настоящее время из-за почти трехкратного превышения фактического притока от Першотравенской группы шахт, по сравнению с проектным притоком, не обеспечивает осветление шахтной воды до санитарных норм перед сбросом в реку Самару. В соответствии с разработанным по замечаниям ОблСЭС регламентом, сброс (опорожнение) пруда предусматривается в период с сентября по 15 апреля. В остальное время должно происходить накопление шахтной воды в пруду.

1.2.2. Оценка экологического состояния территории в результате сброса загрязненной шахтной воды

Как показано выше, шахтные воды характеризуются разнообразием видов воздействия на многие компоненты биосферы – гидросферу, литосферу, техносферу, почвы, растительный и животный мир. Среди них:

- нарушение гидродинамического и гидрохимического режима вод;
- поступление загрязненных шахтных вод в поверхностные водные объекты;
- инфильтрация загрязненных шахтных вод из прудов-накопителей;
- заболачивание аграрно-освоенных земель и территорий;
- обводнение грунтов, снижение их плодородия, и засоление почв;
- изменение свойств естественной среды обитания растений и животных, и как следствие нарушение их жизненного цикла;
- подтопление зон промышленной и жилой застройки;
- смещение и движение размокших массивов горной породы, и проседание земной поверхности;
- активный перенос загрязняющих веществ в разные компоненты биосферы;
- ухудшение качества воды отдельных скважин и колодцев в размещенных поблизости населенных пунктах.

В целом по комплексу гидрохимических показателей, как шахтные, так и трансформированные под их влиянием грунтовые воды, в большинстве случаев вызывают солонцеватость разной степени и засоление почвенного профиля. К тому же, при близком уровне грунтовых вод формируются гидрогаломорфные почвы болотного или лугового типа почвообразования. Такие воды весьма неблагоприятны по воздействию не только на почвы, но и на растения, а использование шахтных вод в сельском хозяйстве для орошения и в других отраслях ведет к загрязнению всех составляющих природной среды, а именно: повышению кислотности, засолению, снижению урожайности сельскохозяйственных культур и деградации почв.

Относительно высокая загрязненность сбрасываемых шахтных вод, в част-

ности в Западном Донбассе, объясняется многими причинами. Во-первых, многие шахты имеют недостаточные объемы горизонтальных отстойников и совсем не имеют регулирующих емкостей, из-за чего при работе главных водоотливов в автоматизированном режиме насоса приходится откачивать воду, непосредственно из отстойников, куда попадает пульпа от очистки водосборников, приводящая к чрезмерному загрязнению скопившихся в нем вод. В результате, насосы откачивают в водоемы общего пользования очень грязные воды. Во-вторых, большое количество шахтных очистных сооружений построены с нарушением основных требований СНиП и, естественно, не обеспечивают надлежащего качества очистки шахтной воды. В-третьих, значительная часть имеющихся прудов-осветлителей заилена, а некоторые вообще размыты, из-за чего шахтные воды в таких прудах почти не осветляются. Более того, во время весенних половодий и паводков пруды-осветлители сами являются угрозой близлежащим территориям из-за скопившихся в них твердых частиц.

Поверхностные воды исследуемой территории представлены естественным водотоком – р. Самара с притоками, искусственными водоемами (прудами) и шахтными накопителями сточных вод. Главными источниками их загрязнения являются пруды-накопители минерализованных шахтных вод, расположенные в балках Косьминная, Тараново и Свидовок. В прудах, расположенных в балках Косьминная и Тараново, отсутствуют противофильтрационные экраны, что способствует проникновению загрязняющих веществ в незащищенные водоносные горизонты, при этом глубина засоления составляет 16-40 м с минерализацией подземных вод в таких зонах 5,3-7,5 г/дм³.

Не меньший вред водным объектам наносится загрязнением шахтных вод твердыми взвешенными угольными и породными частицами. Несмотря на то, что все шахты имеют очистные сооружения, содержание твердых взвешенных частиц в шахтной воде остается достаточно высоким.

Пруды-отстойники шахтных вод не всегда эффективно очищают воду от загрязняющих веществ и патогенной микрофлоры, и сами могут быть фактором риска вторичного загрязнения и распространения возбудителей инфекции. Накоп-

ление токсикантов в донных отложениях может явиться причиной вторичной токсичности воды (в дальнейшем становится возможна обратная миграция тяжелых металлов из донных отложений в воду). Токсиканты перемещаются, мигрируют и накапливаются, а, кроме того, превращаются в более устойчивые формы.

В условиях недостаточности природных водных объектов в исследуемом регионе, население прилегающих к шахте районов зачастую используют эти пруды, как для полива сельскохозяйственных угодий, так и в рекреационных целях (отдыха, купания, рыбалки.), поэтому снижение уровня загрязнения воды в них до нормативных значений приобретает особую актуальность.

После осветления в прудах-накопителях, шахтные воды перекачиваются в реку Самару, протекающую через территорию Западного Донбасса. Общий объем сброшенных в нее шахтных вод в 2012 году составил 18,2 млн. м³, что свидетельствует об уменьшении этого показателя на 9,2 млн. м³, по сравнению с 2003 годом (27,4 млн. м³). При этом количество загрязняющих веществ, содержащихся в шахтной воде, в 2012 году составило 35,54 тыс. тонн [67].

Поверхностные воды реки, трансформированные под воздействием шахтных вод в сульфатно-хлоридно-кальциево-магниевые, относятся к нейтральным или слабощелочным. В контрольных створах р. Самара выявлено наличие таких тяжелых металлов как железо, марганец, медь, цинк, хром, свинец, никель, кобальт и кадмий. Большинство из них, в совокупности с органическими соединениями, нефтепродуктами, становятся биологически опасными для водных экосистем. Они могут тормозить или полностью прекращать жизненные процессы у гидробионтов, что ведет к отравлению гидросферы и уничтожению рыбы. Так, проведенная биоиндикационная оценка [68] поверхностных водных объектов в регионе с использованием растений-биоиндикаторов (табл. 1.1) показала, что по всем анализируемым показателям полученные фактические значения превышают установленный норматив условного показателя повреждаемости ($VIII_{норм}=0,300$), а ростовые процессы у фитоиндикаторов, выращенных на образцах воды, отобранной в прудах-накопителях шахтных вод и р. Самары, угнетаются. Это указывает на присутствие в пробах воды веществ, обладающих токсичными и мутаген-

ными свойствами, что может негативно сказаться на жизнедеятельности водных организмов.

Таблица 1.1

Оценка экологической безопасности поверхностных водоемов Западного Донбасса по токсико-мутагенному фону

Исследуемый показатель качества воды	Фактическое значение показателя $УПП_i$	Уровень поврежденности	Состояние водных объектов	Категория экологической безопасности водных объектов
Токсичность	0,645	выше среднего	критическое	опасная
Мутагенность	0,485	средний	конфликтно-угрожающее	умеренно опасная
Токсико-мутагенная активность	0,538	выше среднего	критическое	опасная

Как видим, сброс загрязненной шахтной воды оказывает масштабное воздействие на региональный природный гидродинамический режим и гидрохимический состав подземных и поверхностных водных объектов, что делает их непригодными для хозяйственно-питьевого водоснабжения и для земледелия (орошения). Сложность решения этой экологической задачи определяется высокой экологической нагрузкой на водные ресурсы и возрастающим противоречием между стремлением к увеличению производства с минимальными затратами, с одной стороны, и необходимостью соблюдения требований экологической безопасности, с другой.

1.3. Анализ существующих методов и средств снижения уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды

Высокодисперсный (до 80% частиц размером менее 10 мкм) состав взвешенных веществ в шахтной воде обуславливает необходимость применения различных технических средств и технологических приемов для качественной ее очистки.

Анализ состояния очистки шахтной воды и эффективности очистных со-

оружий на предприятиях угольной промышленности показал, что эта вода частично очищается (в основном от взвешенных веществ) и в отдельных случаях подвергается обеззараживанию [69, 70].

Технология очистки шахтной воды от взвешенных веществ включает три последовательных этапа: разделение на жидкую и твердую фазы (извлечение взвешенных веществ), обеззараживание и обработку осадка. Схемы очистки разделяются по следующим признакам:

- по методу извлечения взвешенных веществ – отстойные, фильтровальные и комбинированные;
- по числу ступеней очистки – одно-, двух- и многоступенчатые;
- по использованию реагентов – безреагентные и реагентные;
- по методу обезвоживания осадка – на схемы с гравитационным, флотационным или механическим обезвоживанием;
- по методу обеззараживания – на схемы с применением жидкого хлора, гипохлорита натрия, хлорной извести, озона или бактерицидного облучения.

Выбор схемы очистки при типовом проектировании сооружений для очистки шахтной воды от взвешенных веществ основывается на классификации физико-химического состава шахтной воды, по показателям состава и свойств воды водоемов-приемников сбрасываемых стоков и зависит от вида последующего использования очищенной жидкости [71].

На шахтах используется технология очистки шахтной воды в отстойных сооружениях, как наиболее простая в обслуживании и в конструктивном исполнении. В них очищается 90% всей шахтной воды. Наиболее распространенными являются горизонтальные отстойники, пруды-отстойники и их сочетания, которые не имеют ограничений по производительности и начальной загрязненности сточной воды. Так, в угольной отрасли эксплуатируется более 300 горизонтальных отстойников и около 500 прудов и каскадов прудов-осветлителей (отстойников).

Горизонтальный отстойник (схема на рис. 1.1) обычно представляет собой бассейн прямоугольной формы в плане. Вода, подлежащая осветлению, подводится к одной из его торцевых стенок, проходит вдоль отстойника до противо-

ложной торцевой стенки и там отводится.

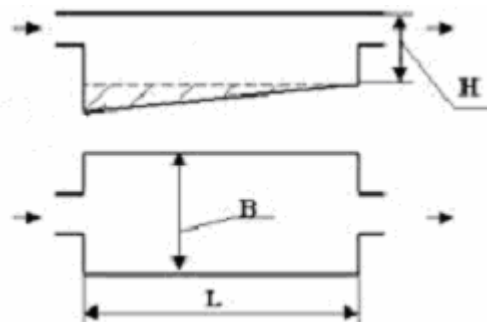


Рис. 1.1. Схема традиционного горизонтального отстойника: L – длина отстойника; B – ширина отстойника; H – высота отстойника

К недостаткам этих отстойников, которые используются в качестве первой ступени процесса очистки шахтной воды, следует отнести:

- режим движения воды в традиционных горизонтальных отстойниках – турбулентный, поэтому из-за наличия поперечных составляющих скорости потока, которые возрастают с повышением скорости горизонтального движения воды, процесс гравитационного оседания тонкодисперсных твердых взвешенных в воде частиц и примесей ухудшается, а сечение отстойника используется не полностью;

- необходимость значительного объема отстойника, а значит, и его площади или длины;

- при отсутствии устройств гидравлического распределения потоков снижается эффективность использования объема (коэффициент объемного использования отстойников меньше 0,5), появляются «застойные» зоны и транзитные струи, что снижает эффективность осветления воды;

- реальная продолжительность пребывания воды в отстойнике всегда меньше теоретической, вследствие неизбежного неравномерного распределения скоростей потока по всей площади поперечного сечения отстойника, из-за чего фактическая скорость движения воды в отстойнике больше расчетной, что снижает эффект осветления воды;

- выполнение дна отстойника горизонтальным, усложняет процесс отвода осадка и способствует повышению концентраций загрязнителя в осветленной воде;

- вследствие неравномерного гравитационного перемещения основной массы взвеси в нижние слои, а также повышенной горизонтальной скорости по оси потока и вертикальной его составляющей теряется устойчивость, которая препятствует дальнейшему оседанию частиц в первой половине длины отстойника и повышает их концентрацию в сбрасываемой воде.

Эффективность безреагентной очистки шахтной воды в горизонтальных отстойниках составляет 40-60%, а при использовании реагентов – 75-85%. Эффективность же очистки в прудах-отстойниках выше и достигает 95-98%, обеспечивая содержание взвешенных веществ в очищенной воде до 7-10 мг/дм³. Поэтому представляет интерес технологическая схема последовательного отстаивания шахтной воды в горизонтальных отстойниках и прудах-осветлителях. Более половины шахтной воды проходит очистку по этой технологии.

Достоинством схем с использованием прудов-отстойников является простота их устройства и эксплуатации, совмещение процессов осветления воды и складирования осадка, а также высокая эффективность и надежность работы. К основным недостаткам таких очистных сооружений относятся потребность отвода больших участков земель и низкая эффективность осветления при больших содержаниях мелкодисперсных взвешенных веществ, а также необходимость приостановки работы секции отстойника на время очистки от осадка. Причем концентрация тонкодисперсных фракций взвеси в шахтной воде, поступающей на очистку, не должна превышать 30-50 мг/дм³ при безреагентном отстаивании. Очищенная же вода обычно содержит до 30 мг/дм³ взвешенных веществ [6].

Все большее распространение на шахтах Донбасса получают технологические схемы очистки сточной воды с использованием тонкослойных отстойников (рис. 1.2), которые позволяют снижать содержание взвешенных веществ в сбрасываемой воде с 200-250 до 5-10 мг/дм³ [72].

Тонкослойный отстойник – сооружение для очистки воды, объем которого разделен наклонными параллельными пластинами на отдельные слои-ярусы. В каждом из них происходит отстаивание воды, а благодаря наклону пластин – удаление (сползание) выделенного осадка.

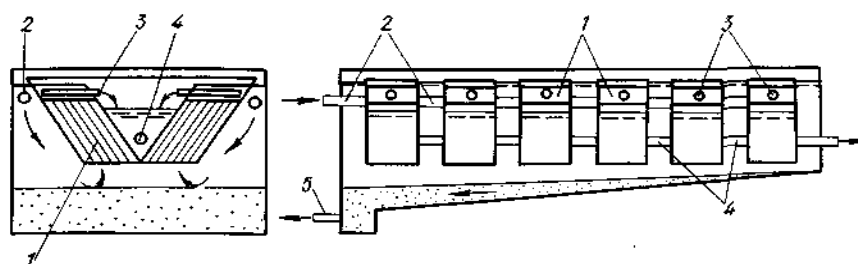


Рис. 1.2. Схема тонкослойного отстойника: 1 – пакеты наклонных пластин; 2 – перфорированный впускной коллектор; 3 – трубы для отвода осветленной воды; 4 – отводящий коллектор; 5 – илопровод

Одним из основных элементов тонкослойного отстойника является узел распределения воды между ярусами. Недостаточно равномерное распределение потока воды существенно снижает эффект очистки, так как увеличивает скорость ее движения в одних ярусах за счет снижения в других. Это является причиной вынужденного снижения производительности тонкослойного отстойника и экономической неэффективности его применения. Кроме того, большое влияние на эффективность работы тонкослойного отстойника оказывает угол наклона пластин α . Если он меньше требуемого ($\alpha \approx 55-60^\circ$), то ярусы зашламливаются и их необходимо периодически промывать. Если же угол наклона выбран с большим запасом, то повышается скорость сползания осадка. При этом на границе между сползающим осадком и движущимся потоком воды из-за трения возникают возмущающие потоки, и взвешивающие частицы сползающего шлама вторично загрязняют осветляемую воду.

Недостатком тонкослойных отстойников можно считать необходимость предварительной механической очистки воды в других отстойниках, так как крупные и всплывающие частицы способны вывести из строя тонкослойные блоки. Кроме того, постепенное отложение частиц на поверхности тонкослойных модулей требует их периодической очистки от накопившегося осадка, поэтому необходимо второе устройство (когда один отстойник чистят, другой – работает, и наоборот).

Как видим, эффективность существующих отстойников определяется гид-

равлическим режимом их работы, поэтому для усовершенствования отстойников необходим анализ этого режима.

1.4. Анализ известных подходов к исследованию работы отстойников шахтной воды и возможных путей их усовершенствования

Проектирование отстойников воды чаще всего осуществляют на основе результатов их модельных исследований [73-95]. Поэтому кратко рассмотрим и проанализируем некоторые модели и результаты, полученные при исследованиях на таких моделях. Так, в работе [82] исследовалось влияние способов впуска и выпуска воды на степень неравномерности распределения потока по сечению отстойника. Скорости течения измерялись путем введения легко растворимого индикатора (кристаллы марганцево-кислого калия). Указано на преимущество дырчатых перегородок (щитов) и подчеркивается необходимость определения величины горизонтальной скорости воды в отстойнике с учетом обеспечения оседания в нем частиц заданной крупности.

В работе [76], посвященной изучению влияния глубины потока на процесс осветления воды, делается вывод о целесообразности увеличения глубины отстойника. Отмечается также влияние содержания взвеси в отстаиваемой воде на характер потока и делается вывод, что конструкция впускного устройства не влияет на характер перераспределения скоростей в сооружении.

В работе [78] отмечено влияние перегородок на кинетику потока (выравнивание скорости по сечению). Установлено, что в модельной установке перегородки могут создавать как донный, так и поверхностный режим течения.

Авторы работы [79] установили, что неудачный впуск воды создает водоворотные зоны и вызывает замыкание потока в отстойнике. Дырчатые перегородки улучшают гидравлические условия работы отстойника. При этом рассеивающий впуск может обеспечить создание равномерного режима течения.

В работе [81] рассматривался вопрос о влиянии типов входных устройств на работу модели отстойника. По результатам исследований даются выводы о необ-

ходимости установки в начале отстойника распределительных устройств. Указывается на роль выходной дырчатой перегородки в работе модели отстойника и отмечается ее отрицательное влияние на качество осветления воды. Делается вывод о нецелесообразности установки дырчатых перегородок на выходе из отстойника.

Автором работы [83] были проведены исследования на геометрически подобной модели отстойника масштаба 1:20. Моделирование проводилось по принципу равенства скоростей в натурном отстойнике и модели. Сравнение гидравлических характеристик работы модели при разных водовпускных и водовыпускных устройствах показало, что впуск воды через незатопленные отверстия обеспечивает лучшие гидравлические условия в отношении времени пребывания и скорости протекания воды в отстойнике. При затопленных впускных отверстиях коэффициент объемного использования отстойника уменьшается, преобладают поверхностные скорости потока, превышающие среднее значение в данном «живом» сечении в 6,3 раза.

В работе [84] установлено, что существенное влияние на гидравлический режим работы отстойников, а, следовательно, и на эффективность их работы, оказывают конструкции впускного и выпускного устройств, которые должны гасить энергию потока жидкости до состояния покоя. Причем наилучшим способом обеспечения равномерного распределения воды по сечению отстойника является впуск воды в отстойник и выпуск ее через дырчатую стенку.

Качественная оценка оседания взвеси в модели отстойника (при различном конструктивном оформлении водораспределительных устройств), приведенная в [96], показала:

- дырчатые распределительные перегородки, устанавливаемые у водовпускных отверстий, имеют определяющее значение в формировании гидравлического режима работы отстойника, увеличивая время пребывания воды в отстойнике в 1,4-3 раза и создавая благоприятные условия для равномерного отложения осадка по его длине;

- обустройство по всей ширине секции отстойника водосливного кармана

перед водовыпускными отверстиями позволяет стабилизировать уровень воды и исключить влияние слива воды из отстойника на его гидравлический режим.

Исследования на модели горизонтального отстойника, представленные в работе [97] показали, что более благоприятные гидравлические условия по времени пребывания воды в нем и величине скорости ее протекания наблюдались при незатопленном впускном отверстии с входом через дырчатый лоток и с установкой дырчатой перегородки на расстоянии 40-45 см от впускного отверстия.

В работе [98] установлена роль поперечных перегородок, не достигающих поочередно, то до дна, то до верха отстойника. Стеснение сечения отстойника перегородкой вызывает увеличение скорости воды, вследствие чего в отсеках между перегородками восходящее движение потока должно приводить к выносу взвеси. Поэтому при обустройстве поперечных перегородок, несмотря на удлинение пути воды, условия оседания ухудшаются.

Анализ опубликованных результатов исследований существующих промышленных горизонтальных отстойников, позволяет достаточно обоснованно подойти к усовершенствованию горизонтального отстойника шахтной воды. При этом по нашему мнению, рекомендуется:

- для выравнивания скоростей потока воды и ослабления влияния температурных колебаний на эффект работы отстойника целесообразна установка дырчатых распределительных перегородок, что позволит улучшить характер отложения взвеси по длине отстойника;

- для поддержания постоянного рабочего горизонта воды в секциях отстойника и уменьшения объема «застойных» зон необходимо устраивать водосливы и карманы перед водовыпускными отверстиями по всей ширине секций отстойника на одной отметке по уровню горизонта.

1.5. Учет наиболее значимых факторов, влияющих на эффективность очистки воды в отстойнике

Эффективность очистки воды в отстойниках обусловлена гидравлической

крупностью частиц взвешенных веществ, их исходной концентрацией, временем отстаивания, температурой воды и ее вязкостью, гранулометрическим составом, конструктивными особенностями первичных отстойников, нагрузкой осветленной воды на водослив, своевременной выгрузкой сырого осадка и др. [3, 99-104].

Кратко проанализируем наиболее значимые из них и обозначим пути их учета применительно к шахтной воде. Так, в работах [105, 106] показано, что эффект осветления сточной воды увеличивается пропорционально первоначальной концентрации взвешенных веществ в исходной воде, что подтверждает их агломерацию в процессе оседания. Это явление можно интенсифицировать увеличением пути оседания взвеси. Кроме того, эффект очистки растет с увеличением продолжительности отстаивания.

В работе [107] установлено, что в маломинерализованной шахтной воде эффект осветления весьма незначителен и, наоборот, с увеличением минерализации эффект осветления суспензии увеличивается. Так, при солесодержании воды 1 г/дм^3 эффект осветления аргиллитовой суспензии (ML) составил 22,3%, а в воде с солесодержанием 4 и 8 г/дм^3 – 68%.

Кроме того, установлены зависимости эффекта осветления суспензий, состоящих из частиц различного вещественного состава, от продолжительности отстаивания, минерализации воды и процента участия различных ингредиентов в твердой фазе. А именно: эффект осветления этих суспензий при простом отстаивании увеличивается не только с увеличением минерализации воды, но и с повышением содержания фюзинита и минеральных примесей. Уместно отметить, что при продолжительности отстаивания шахтной воды более 60 мин. эффект ее осветления практически не зависит от высоты столба воды, а зависит только от времени отстаивания и концентрации взвешенных веществ в исходной воде [105].

В работе [108] установлена зависимость эффекта осветления сточных вод от высоты слоя жидкости (высоты сосуда) из-за агломерации в процессе оседания. Она подтверждена и в работе [109], согласно которой при величине $U_0=1 \text{ мм/с}$ и высоте столба сточной воды $h=0,5 \text{ м}$ эффект ее осветления составляет $\mathcal{E}_{0,5}=35-64\%$, а при высоте столба сточной воды $h=5 \text{ м}$ – $\mathcal{E}_5=66-86\%$. Похожие результаты

получены в работах [110-112].

Определенное влияние на эффективность очистки сточных вод оказывает температурный режим жидкости, поступающей на осветление из-за изменения ее вязкости [75, 100, 109]. Так, при уменьшении температуры, вязкость воды увеличивается, а эффект осветления, наоборот, уменьшается, а как показано в работе [96], с повышением температуры воды, снижается интенсивность движения жидкости по дну, и вынос осадка на выходе из отстойника не наблюдается.

Важным фактором в работе отстойных сооружений является локальная циркуляция некоторых объемов жидкости в отстойнике. Причем увеличение скорости циркуляции в рабочей части отстойника ухудшает эффект осветления воды. По этой части важны результаты, полученные авторами в работах [112, 113] при исследовании горизонтального и радиального канализационного отстойников. Если принять во внимание, что обычно расчетная скорость потока в отстойниках принимается не более 10 мм/с, то увеличение ее за счет циркуляции жидкости на 30-35% негативно сказывается на эффекте осветления воды.

Кроме того, на эффект осветления сточных вод оказывает влияние рН. Так, эффект осветления жидкости с понижением рН увеличивается [100]. В частности, если при рН=7-8 эффект осветления составлял 50-65%, то при рН=5 он достигал 70-80%. Также отмечается, что с увеличением исходной концентрации взвешенных веществ в воде влияние рН на выпадение взвеси увеличивается, и наоборот. Например, при рН=5 эффект осветления воды, содержащей 230 мг/дм³ взвешенных веществ, составлял 68%, для 300 мг/дм³ – 75% и для 400 мг/дм³ – 78%. В промежутке значений рН=7,3-8,5 эффект оседания частиц взвеси не менялся.

Авторы [114] отмечают, что с повышением температуры воды объемный к.п.д. отстойника увеличивается. При уменьшении глубины потока эффект осветления снижается при сохранении неизменной расчетной скорости движения воды, а с увеличением расчетной скорости объемный к.п.д. отстойника возрастает, но при этом ухудшается эффект осветления воды, хотя время отстаивания сохраняется прежним.

Благоприятные условия для оседания взвеси создаются исключением попе-

речной циркуляции взвесенесущих потоков, которая препятствует осаждению частиц, и поддержанием ламинарного (или близкого к нему) режима движения жидкости. Это условие характеризуется критическим значением числа Рейнольдса ($Re_{кр} \leq 2000$). Эксперименты показали, что эффективность осветления зависит от числа Рейнольдса [115]. Наилучший эффект очистки достигается при $Re \leq 500$. При увеличении числа Re с 500 до 2000 эффект очистки снижается, а с переходом режима в турбулентную область процесс оседания частиц резко ухудшается. Поэтому необходимо добиваться уменьшения числа Рейнольдса в отстойнике до достижения ламинарного режима течения.

Кроме того, повышение эффективности осветления загрязненной шахтной воды в отстойнике может достигаться включением в работу всех его секций, равномерной подачей и распределением воды в них, своевременным удалением осевшего шлама из отстойника и содержанием в чистоте распределительных сборных лотков [6, 116].

1.6. Постановка цели и задач исследований

Установлено, что освоение угольных месторождений в сложных гидрогеологических условиях, а также переход горных работ на более глубокие горизонты приводят к увеличению объема откачиваемой на поверхность шахтной воды и ее загрязненности различными веществами. Отличительной особенностью шахтных вод, которая затрудняет их очистку, является наличие мелкодисперсных (менее 10 мкм) агрегативно-устойчивых угольных и породных частиц, количество которых может достигать 50-70% от общей массы дисперсной фазы. В целом же содержание частиц размером менее 50 мкм составляет 99%. Взвешенные вещества, содержащиеся в шахтной воде, играют существенную роль в загрязнении близлежащих поверхностных водоемов, поскольку они либо содержат в себе многие химические загрязнители, либо адсорбируют тяжелые металлы, что указывает на важность эффективного отстаивания шахтной воды.

Анализ существующих методов и средств снижения уровня экологической

опасности сброса загрязненной шахтной воды угледобывающими предприятиями в поверхностные водоемы показал, что действующие горизонтальные отстойники задерживают только крупные взвешенные примеси (частицы угля и породы) и дают небольшой эффект осветления, достигающий 30%. В результате, в поверхностные водоприемники (балки, реки) поступает около 95% недостаточно очищенной шахтной воды.

В этой связи целью данной диссертационной работы является научное обоснование возможного снижения уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды предприятиями угольной промышленности в поверхностные водоемы за счет повышения эффективности ее очистки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) проанализировать основные факторы, определяющие экологическую опасность сброса загрязненной шахтной воды предприятиями угольной промышленности в поверхностные водоемы, а также существующие средства снижения указанной опасности;

2) исследовать уровни загрязнения шахтной воды, откачиваемой на поверхность угледобывающими предприятиями, и установить зависимость уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в водоемы от комплекса гидрохимических показателей качества воды;

3) разработать физическую и математическую модели, необходимые для определения параметров процесса осветления загрязненной шахтной воды в предложенном горизонтальном отстойнике, что обеспечит снижение содержания механических примесей в воде после ее очистки и уровня экологической опасности ее сброса в поверхностные водоемы;

4) разработать способ и техническое решение для снижения уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в поверхностные водоемы и обосновать рациональные параметры процесса осветления шахтной воды;

5) оценить прогнозируемый уровень повышения экологической безопасности сброса загрязненной шахтной воды по комплексу гидрохимических показателей качества воды при внедрении разработанного технического решения.

Для решения поставленных в диссертационной работе задач, автором разработана комплексная методика исследований, представленная на рис. 1.3.



Рис. 1.3. Комплексная методика исследований

Методической основой решения поставленных в работе задач исследований являются:

1) анализ и обобщение данных научно-технической литературы – для оценки гидрохимических показателей качества шахтной воды и уровня экологической опасности ее сброса в поверхностные водоемы;

2) методы гидравлики – для выяснения влияния различных гидравлических факторов на режим работы действующего макета горизонтального отстойника усовершенствованной конструкции;

3) методы физического моделирования процесса оседания взвешенных веществ – для исследования процесса выпадения частиц взвеси в отстойнике предложенной конструкции;

4) методы математического моделирования – для установления закономерностей массопереноса суспензированных веществ в предложенном отстойнике шахтной воды и взаимозависимостей между его конструктивными параметрами и гидравлическими показателями по реальным данным водоотлива угольной шахты;

5) эколого-экономический анализ – для прогноза повышения уровня экологической безопасности сброса загрязненной шахтной воды в поверхностные водоемы по комплексу гидрохимических показателей качества воды в предложенном отстойнике и оценки экономической эффективности его внедрения.

РАЗДЕЛ 2

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ СБРОСА ЗАГРЯЗНЕННОЙ ШАХТНОЙ ВОДЫ

2.1. Исследование уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды по комплексу гидрохимических показателей ее качества

На большинстве промышленных предприятий, включая угольные шахты, контроль качества сбрасываемых загрязненных вод, определяющих их экологическую опасность, проводится по комплексу гидрохимических показателей, определяемых исходя из анализа процессов, в результате которых образуются сточные воды. Различают дифференциальный и комплексный методы оценки качества воды [117]. Поэтому вначале автором проанализировано качество шахтной воды, откачиваемой на поверхность угледобывающими предприятиями ПАО «ДТЭК Павлоградуголь». Для этого использованы данные о гидрохимических показателях сбрасываемых вод на территории Западного Донбасса за 2001 и 2011 годы (приложение Б) [67, 118-121]. Исследовано состояние воды в поверхностных водоемах промышленной зоны Западного Донбасса дифференциальным и комплексным методами, а далее выполнялась оценка уровня экологической опасности сбросов.

Исследование уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды проводилось на основе анализа качества воды в поверхностных водоемах по комплексу основных гидрохимических показателей упомянутыми выше методами. Исследования проводились в зоне воздействия сбросов шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», расположенных на территории Западного Донбасса. Анализировалось качество воды, отобранной по течению р. Самара в пределах Западно-Донбасского региона, начиная от входа в промышленную зону до выхода из нее.

Схема сброса воды в реку шахтами, которые отмечены порядковыми номерами 1-10, представлена на рис. 2.1. На схеме указаны точки отбора проб воды, обозначенные римскими цифрами I-V.

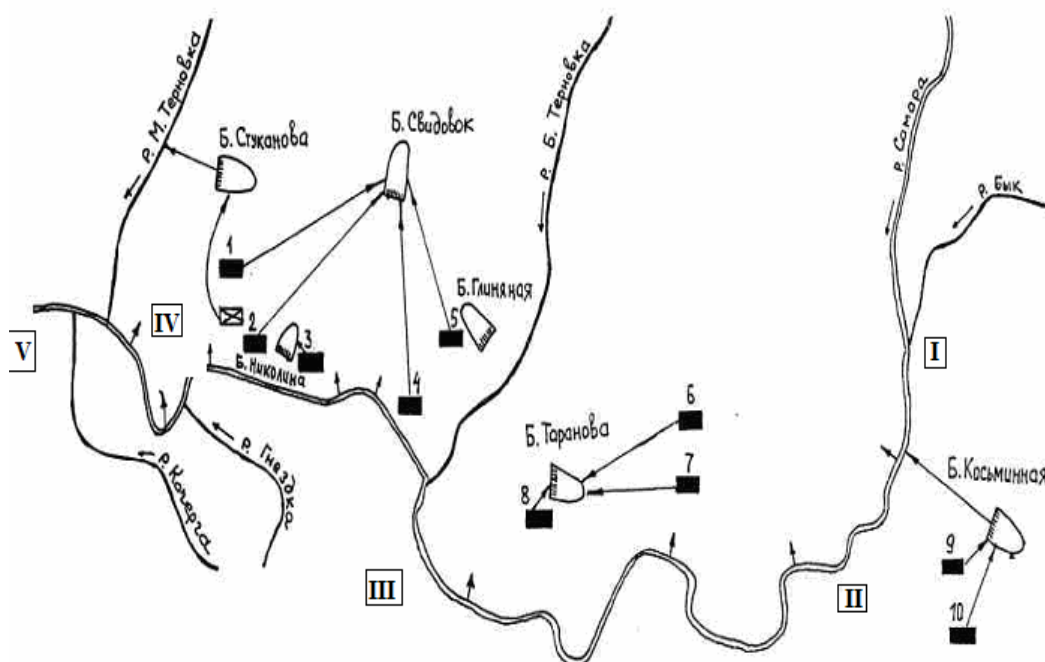


Рис. 2.1. Схема сброса шахтных вод Западного Донбасса:

1 – шахта имени «Героев космоса»; 2 – шахта «Благодатная»; 3 – шахта «Павлоградская»; 4 – шахта «Западно-Донбасская»; 5 – шахта «Терновская»; 6 – шахта «Днепровская»; 7 – шахта имени «Н.И. Сташкова»; 8 – шахта «Самарская»; 9 – шахта «Степная»; 10 – шахта «Юбилейная»;

I – р. Самара, на входе в промышленную зону Западно-Донбасского региона;

II – р. Самара, ниже сброса из пруда-накопителя шахтных вод, расположенным в б. Косминная;

III – р. Самара, выше сброса из пруда-накопителя шахтных вод, расположенным в б. Свидовок;

IV – р. Самара, ниже сброса из пруда-накопителя шахтных вод в б. Свидовок;

V – р. Самара, на выходе из промышленной зоны Западно-Донбасского региона.

2.1.1. Исследование качества шахтной воды дифференциальным методом

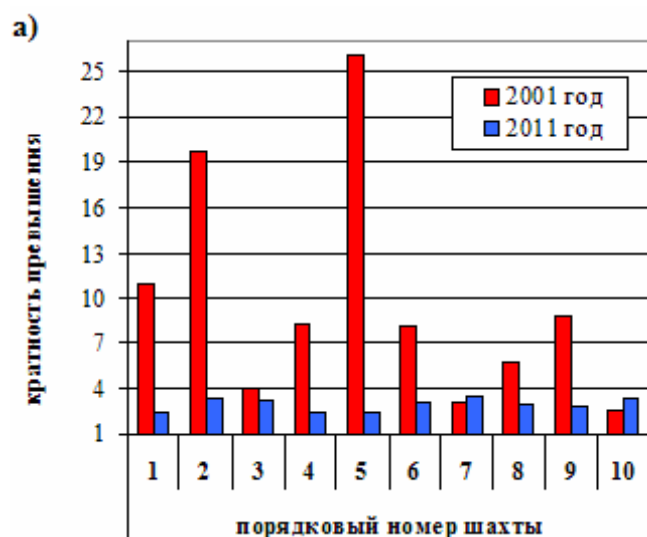
Основной принцип оценки качества воды, используемый в водоохраной практике, состоит в сопоставлении значений параметров состава и свойств исследуемой воды с нормативными значениями (ПДК), приведенными в соответствующих стандартах и правилах [122].

Дифференциальный метод оценки качества воды основан на использовании единичных показателей. При этом отношение фактических концентраций загрязняющих веществ (C_i) в воде к их предельно-допустимым концентрациям (ПДК_{*i*}) не должно превышать единицы, то есть должно выполняться условие $C_i / \text{ПДК}_i \leq 1$.

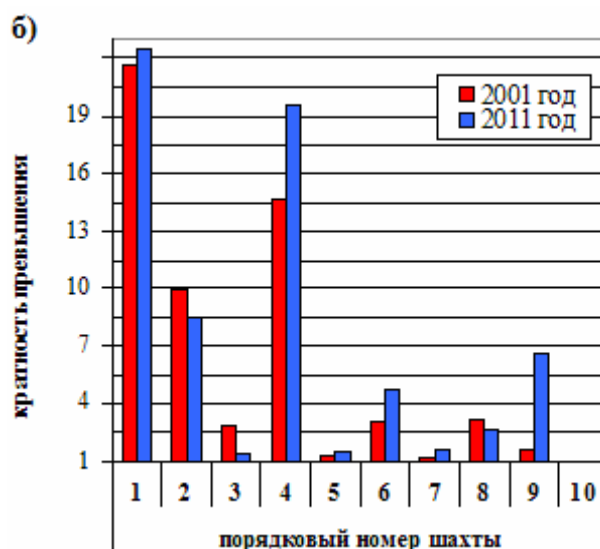
При оценке уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды дифференциальным методом в качестве основных гидрохимических показателей взяты содержания: взвешенных веществ, хлоридов, сульфатов, сухого остатка, азота аммонийного, нитритов, нефтепродуктов, железа, марганца, кадмия и показатель биологического потребления кислорода (БПК_п).

Выполненные оценки кратности превышения фактического содержания загрязняющего вещества над его нормативным значением (ПДК для водоемов хозяйственно-бытового назначения) в воде, сбрасываемой каждой шахтой Западного Донбасса с номерами 1-10 и на пяти участках в воде р. Самара по данным за 2001 и 2011 годы представлены на рис. 2.2-2.3.

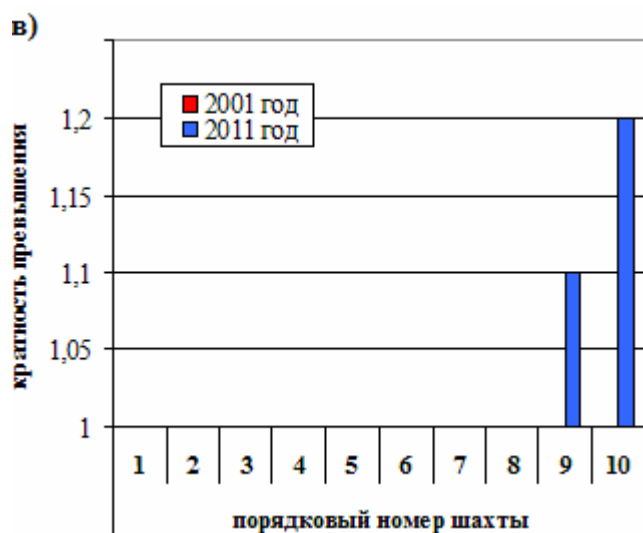
Анализ представленных диаграмм показал, что фактическое содержание взвешенных веществ в откачиваемой воде шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» в 2001 году превышало допустимую норму (ПДК) в диапазоне от 2,5 до 26,1 раз. К 2011 году количество взвешенных веществ в откачиваемой воде снизилось в среднем от 1,3 до 10,9 раза. Исключение составили шахты им. «Н.И. Сташкова» и «Юбилейная», где концентрация взвешенных частиц в воде к 2011 году возросла в 1,1 и 1,3 раза, соответственно.



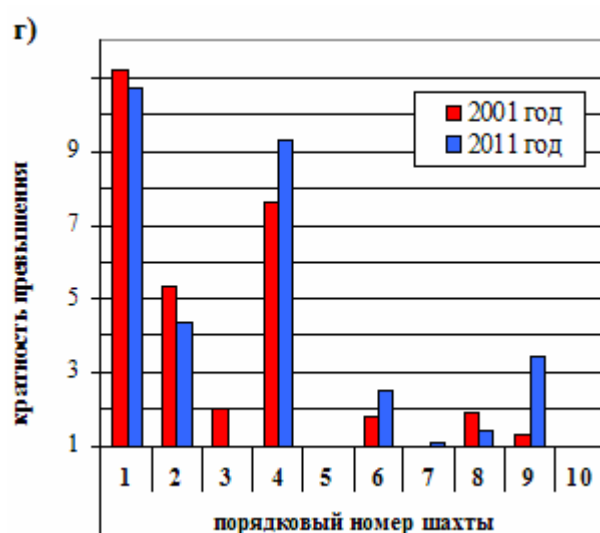
взвешенные вещества



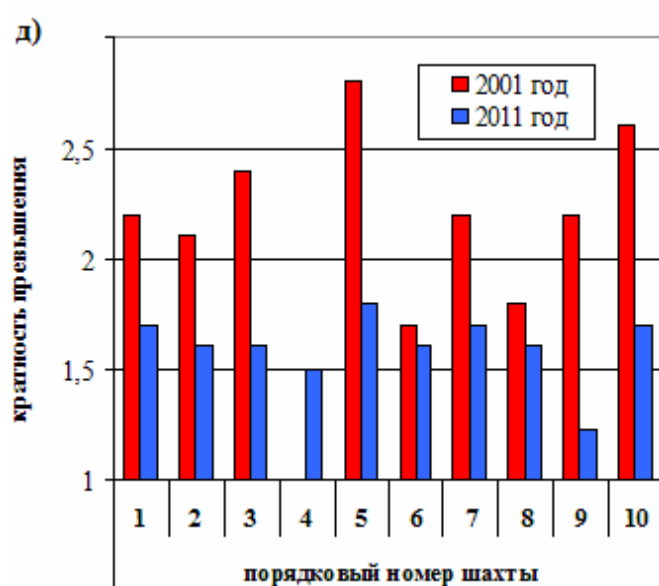
хлориды



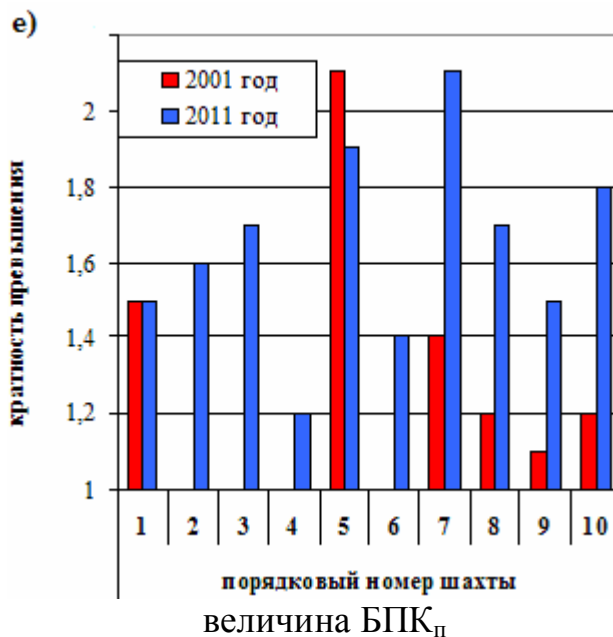
сульфаты



сухой остаток



нефтепродукты



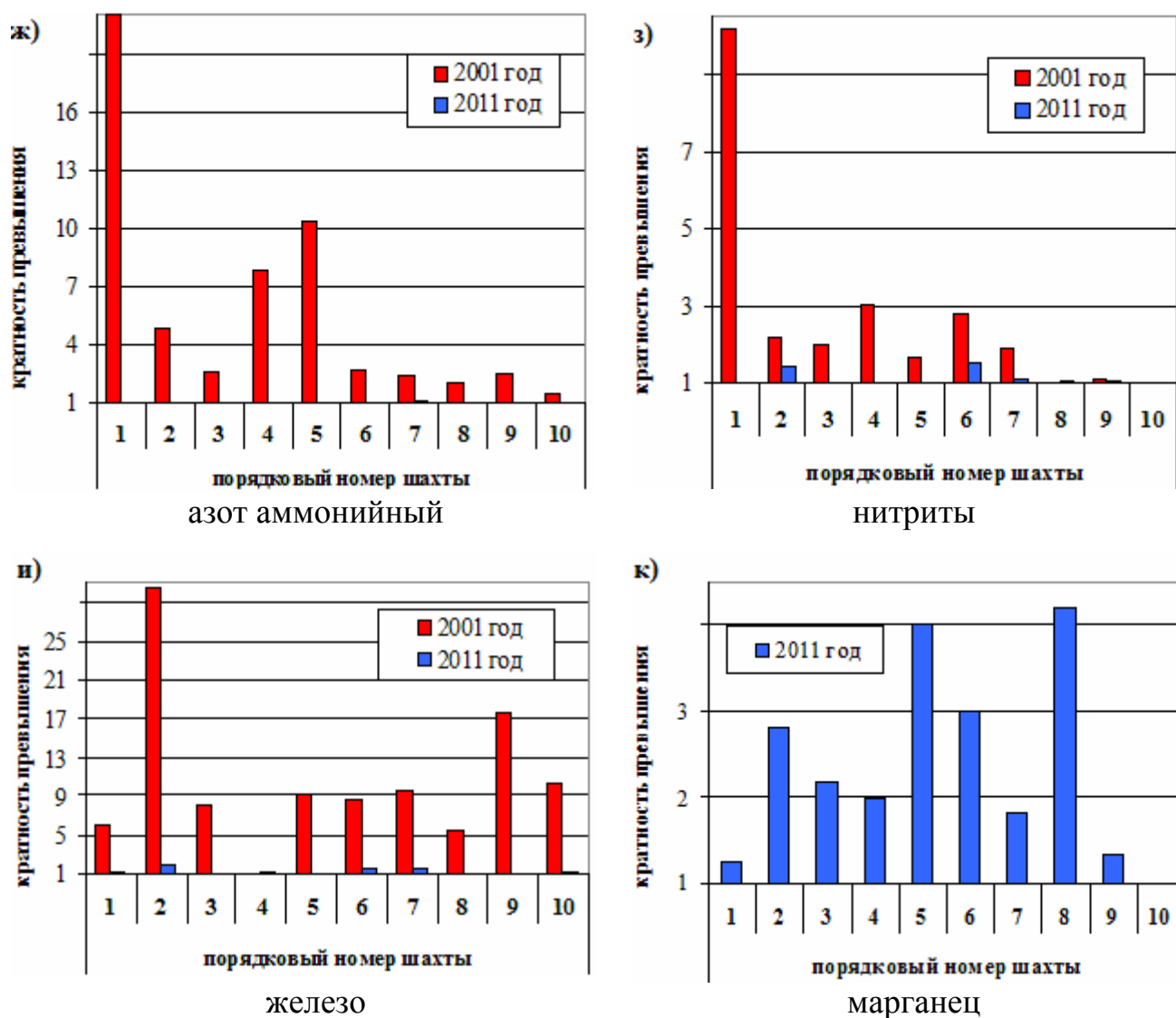
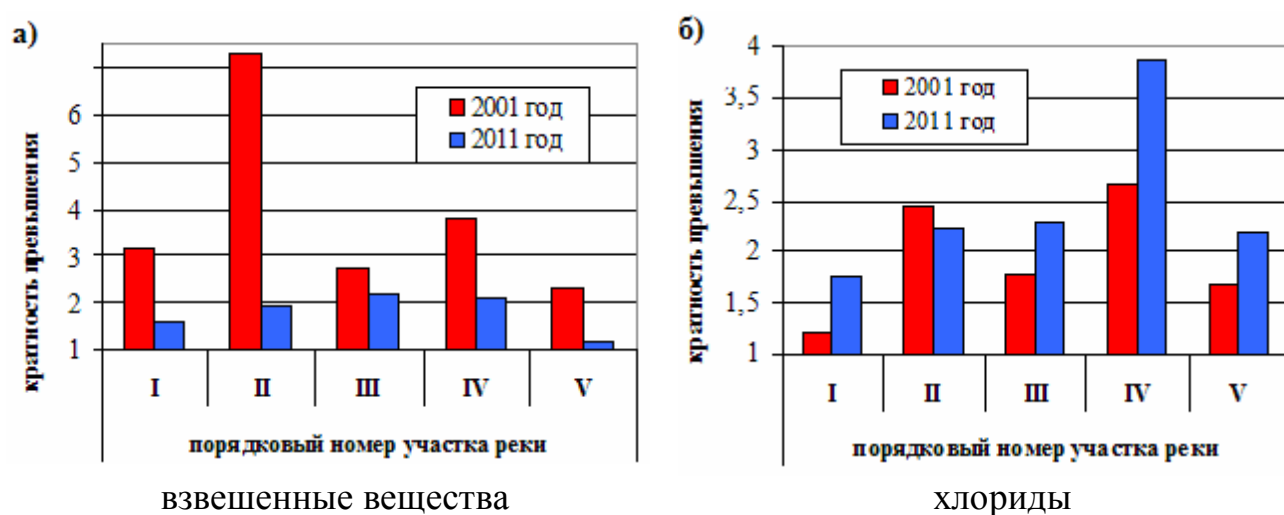


Рис. 2.2. Кратности превышения содержания загрязняющих веществ в шахтной воде угледобывающих предприятий ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» в единицах ПДК



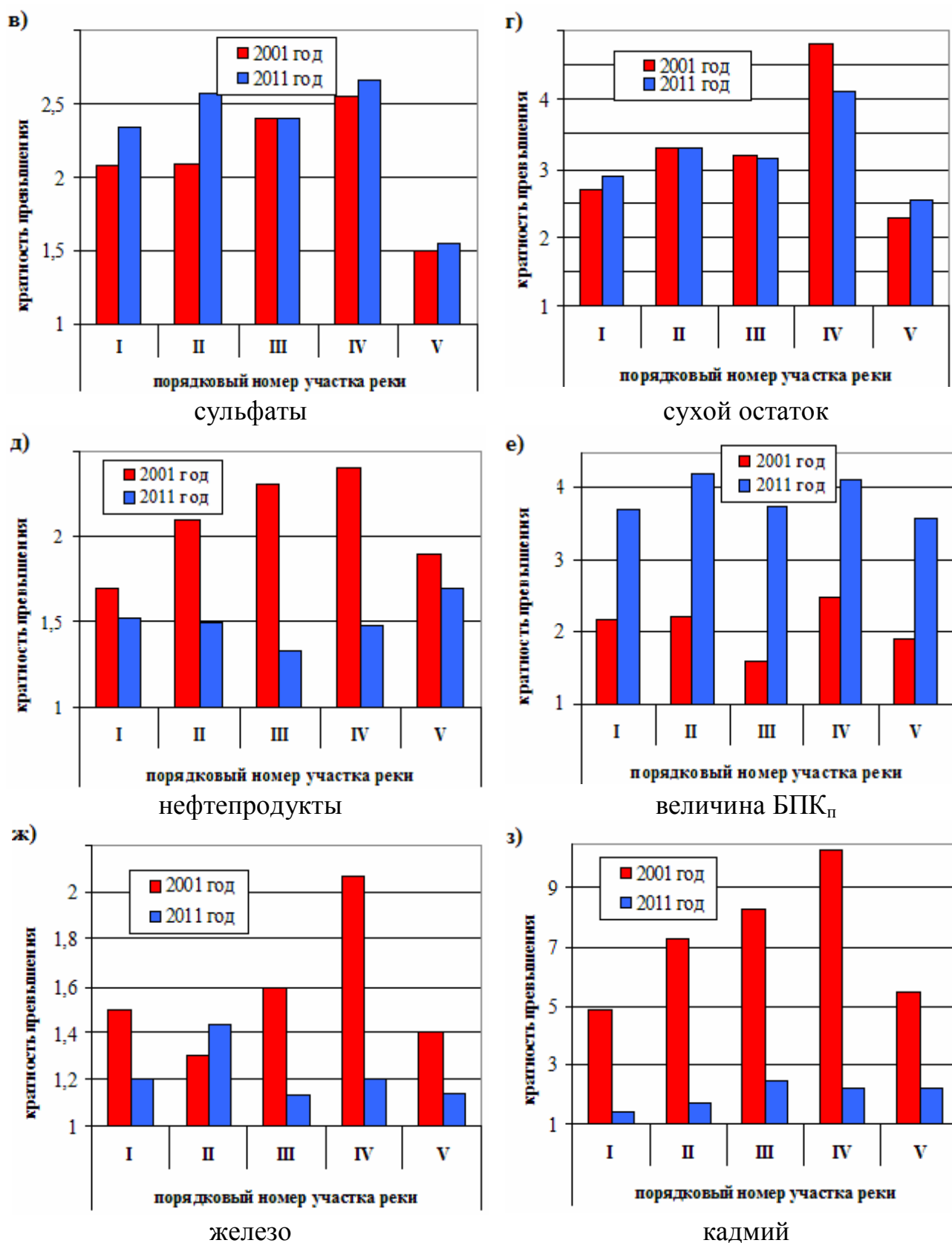


Рис. 2.3. Кратности превышения содержания загрязняющих веществ в воде р. Самара, отобранной в промышленной зоне Западного Донбасса, в единицах ПДК

В воде, отобранной по течению р. Самара на территории Западного Донбасса, концентрация взвешенных веществ в 2001 году превышала установленную величину ПДК для водоемов хозяйственно-бытового назначения в 2,3-7,3 раза. К 2011 году количество взвешенных частиц в воде уменьшилось, и нормативное значение на анализируемых участках реки было превышено в 1,2-2,2 раза.

Фактическое содержание хлоридов в шахтной воде в 2001 году превышало допустимую норму от 1,2 до 21,6 раз для разных шахт. К 2011 году практически по всем шахтам количество хлоридов в откачиваемой воде возросло, а превышение норматива изменялось от 1,5 до 22,5 раз. Исключение составили шахты «Благодатная», «Павлоградская» и «Самарская», где наблюдается снижение концентрации хлоридов в воде в 1,2 и 2 раза, соответственно. Следует отметить, что на шахте «Юбилейная» фактическое содержание хлоридов в откачиваемой воде не превышало норматив за весь рассматриваемый промежуток времени.

В воде р. Самара на территории Западного Донбасса содержание хлоридов в 2001 году превышало нормативное значение в 1,2-2,7 раза. К 2011 году концентрация ионов хлора несколько увеличилась, и норматив был превышен в 1,8-3,9 раза.

Содержание сульфатов в шахтной воде за указанный период времени практически на всех угледобывающих предприятиях не превышает установленное нормативное значение. Только к 2011 году на шахтах «Степная» и «Юбилейная» количество сульфатов в откачиваемой воде превысило норматив в 1,1 и 1,2 раза, соответственно.

В отличие от шахтной воды, в р. Самара в пределах Западного Донбасса фактическое содержание сульфатов во всех пробах превышает норматив в 1,5-2,6 раза. Следует отметить, что за указанный период времени количество сульфатов в воде существенно не меняется, и их концентрация увеличилась в среднем в 1,1-1,2 раза.

Содержание сухого остатка в шахтной воде в 2001 году превышало установленный норматив в 1,3-11,2 раза. К 2011 году на шахтах «Западно-Донбасская» и «Степная» его содержание увеличилось в 1,2-2,6 раза, на шахтах

им. «Героев Космоса», «Благодатная» и «Самарская», наоборот, снизилось в 1,1-1,4 раза. При этом на шахтах «Павлоградская», «Герновская», им. «Н.И. Сташкова» и «Юбилейная» норматив по сухому остатку не превышен.

В воде, отобранной по течению р. Самара, содержание сухого остатка за рассматриваемый период времени существенно не менялось и нормативное значение превышено в 2,3-4,8 раза.

Кроме того, шахтные воды, а также воды р. Самара на территории Западного Донбасса характеризуются значительным уровнем загрязнения нефтепродуктами, фактическое содержание которых в 2001 году превышало установленный норматив в 1,7-2,8 раз. К 2011 году количество нефтепродуктов заметно сократилось, но допустимая норма для шахтной воды была превышена в 1,2-1,8 раз, а для р. Самара – в 1,3-1,7 раза.

Органическое загрязнение воды обычно характеризуют показателем БПК_п. В шахтной воде всех угледобывающих предприятий в 2011 году фактическая величина БПК_п превышала установленный норматив в 1,2-2,1 раза. По сравнению с 2001 годом, значение этого показателя возросло в 1,2-1,7 раз.

Аналогичная ситуация по показателю БПК_п наблюдается в воде, отобранной по течению р. Самара. Если в 2001 году величина БПК_п превышала норматив в 1,6-2,5 раза, то к 2011 году значения данного показателя увеличились в 1,6-2,4 раза.

Наличие азотнокислых солей в шахтных водах свидетельствует о загрязнении их продуктами распада растительного и животного происхождения. При биохимическом распаде азоторганических соединений конечным продуктом являются ионы аммония, которые могут быть окислены в нитриты и нитраты.

Содержание азота аммонийного в шахтной воде всех угледобывающих предприятий в 2001 году превышало нормативное значение в 1,5-21 раз. Существенное превышение данного показателя характерно для центральной группы шахт, а именно: им. «Героев Космоса», «Герновская», «Западно-Донбасская», «Благодатная» и «Павлоградская». К 2011 году фактическая концентрация аммонийного азота не превышала установленный норматив, за исключением шахты

им. «Н.И. Сташкова», где его количество уменьшилось в 2,2 раза, но, несмотря на это, норма незначительно превышена (в 1,1 раза). При этом содержание азота аммонийного в воде, отобранной по течению р. Самара, за рассматриваемый период времени не превышает ПДК для водоемов данной категории.

Фактическое количество нитритов в шахтной воде в 2001 году превышало допустимый норматив в 1,1-10,2 раза. Исключение составили шахты «Самарская» и «Юбилейная», где по данному показателю нормативное значение не превышено. К 2011 году наблюдается существенное снижение концентрации нитритов, и на большинстве угледобывающих предприятий их установленная норма для шахтной воды не превышена. Исключение составили шахты им. «Н.И. Сташкова», «Благодатная» и «Днепровская», где количество нитритов сократилось (в 1,6-1,8 раз), по сравнению с 2001 годом, но все же допустимый норматив превышен в 1,1-1,5 раза.

Повышенные концентрации ионов аммония и нитритов обычно указывают на свежее загрязнение, в то время как увеличенное содержание нитратов – на загрязнение в предшествующее время.

Все шахтные воды содержат значительное количество микроэлементов, содержание которых обусловлено их количеством в подземных водах угленосных отложений и процессами, связанными с миграцией элементов из горных пород в шахтные воды. Так, в шахтных водах, откачиваемых на поверхность угледобывающими предприятиями ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», выявлено повышенное содержание железа, превышающее установленный норматив в 2001 году в 5,6-30,5 раза. К 2011 году концентрация железа в откачиваемой воде существенно снизилась в 5,4-16,1 раз. Исключение составляют шахты «Павлоградская», «Терновская», «Самарская» и «Степная», где содержание железа – в пределах нормы. Концентрация железа в воде, отобранной по течению р. Самара, за рассматриваемый период времени превышает установленную ПДК для водоемов данной категории в среднем в 1,2-2,1 раза. Следует отметить, что содержание железа по течению р. Самара в пределах промышленной зоны Западного Донбасса к 2011 году уменьшилось в 1,2-1,7 раз.

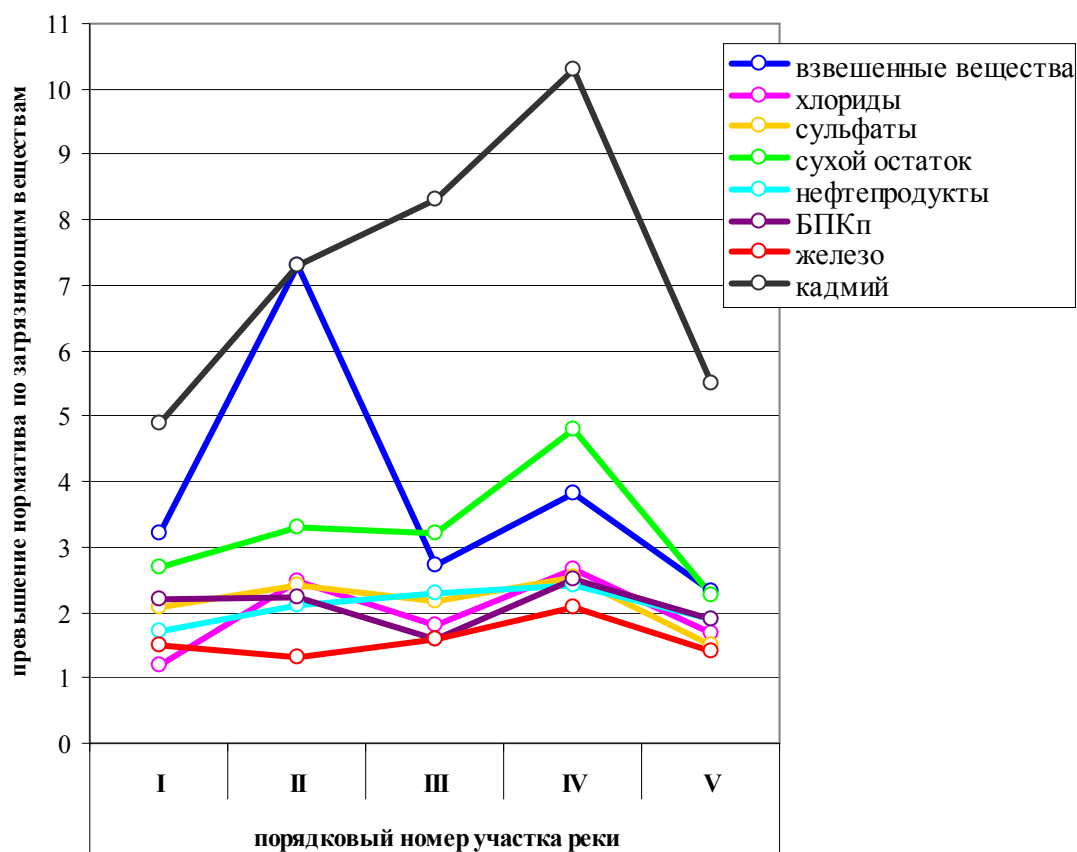
Кроме того, в 2011 году в шахтной воде обнаружено повышенное содержание марганца, фактическая концентрация которого превышает допустимую норму в 1,2-4,2 раза. Исключение составила шахта «Юбилейная», где отношение фактического содержания марганца в откачиваемой воде к величине его ПДК не превышает 1.

Вода, отобранная по течению р. Самара на территории Западного Донбасса, характеризуется повышенным содержанием кадмия. Так, в 2001 году установленное нормативное значение для вод данной категории было превышено в 4,9-10,3 раза. К 2011 году количество кадмия в воде р. Самара существенно снизилось, в среднем в 2,5-4,7 раза.

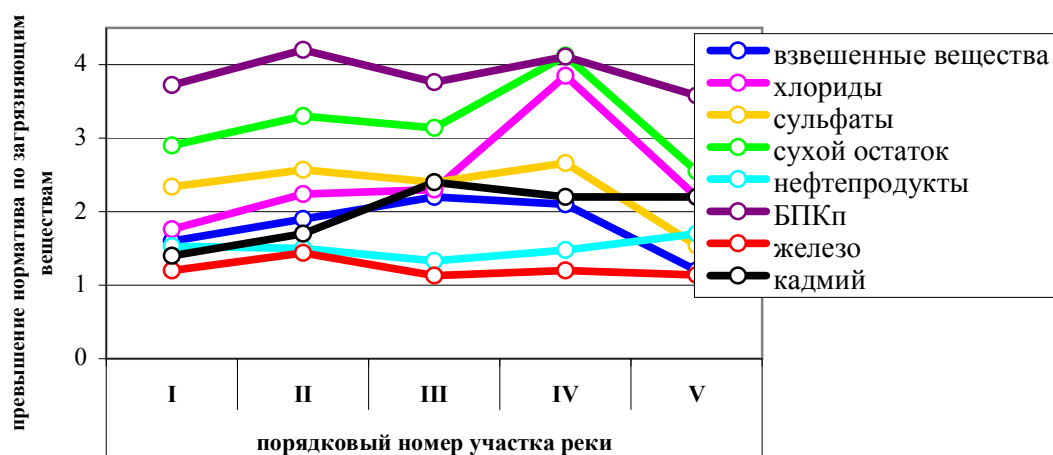
Для обобщения анализа загрязнения участка р. Самара на территории промышленной зоны Западного Донбасса различными веществами, поступающими в результате сброса шахтных вод из прудов-накопителей в 2001 и 2011 годах по результатам гистограмм, представленных на рис. 2.3, были построены графические модели (рис. 2.4).

Анализ представленных графиков позволил выявить некоторые характерные закономерности или особенности загрязнения самарской воды в регионе, которые сводятся к нижеследующему:

1. За 10 лет в воде р. Самара существенно снизилось лишь содержание взвешенных веществ и тяжелых металлов (железа, кобальта), которые депонируются на частицах взвеси, как впрочем, и другие тяжелые металлы. Это снижение обусловлено обустройством прудов-накопителей шахтной воды, в которых оседают взвешенные вещества. Вместе с тем, содержание загрязняющих веществ продолжает превышать установленные нормативы, изменяясь, примерно, от 1,2 ПДК до 4,2 ПДК.



а)



б)

Рис. 2.4. Графические модели загрязнения участков р. Самара в пределах промышленной зоны Западного Донбасса в результате сброса загрязненных шахтных вод: а) – 2001 год; б) – 2011 год;

I, III – до сброса шахтной воды в р. Самара из прудов-накопителей; II, IV – после сброса шахтной воды в р. Самара из прудов-накопителей; V – на выходе из промышленной зоны Западного Донбасса

2. Превышение ПДК загрязняющих веществ на участке I связано в определенной мере с поступлением в р. Самара воды, уже загрязненной предприятиями, находящимися вверх по течению. Причем после сброса шахтной воды из пруда-накопителя, расположенного в балке Косьминная, содержание примесей на участке II увеличивается (кроме нефтепродуктов) на величину до 30%. На участке III – несколько снижается (кроме взвешенных веществ), а на участке IV (после сброса из пруда-накопителя, расположенного в балке Свидовок) вновь возрастает на величину от 6% до 30% и более. Это подтверждает роль сброса шахтной воды на гидрохимический состав речной воды.

3. Содержание взвешенных веществ в самарской воде на участке III, примерно на 38% превышает исходное, достигая 2,2 ПДК, а на выходе из промышленной зоны Западного Донбасса (участок V) их количество, как и других загрязняющих веществ, кроме нефтепродуктов, заметно снижается за счет процессов самоочищения реки. Поскольку ионы тяжелых металлов аккумулируются на частицах взвешенных веществ, уменьшение количества взвеси, содержащейся в загрязненной шахтной воде, приводит к снижению концентрации тяжелых металлов.

2.1.2. Исследование качества шахтной воды комплексным методом

С каждым годом возрастает количество определяемых ингредиентов и показателей качества исследуемой воды, увеличивается число химических веществ, к которым предъявляются нормативные требования. Однако на здоровье человека и на удовлетворение его жизненных потребностей оказывают воздействие не столько отдельные химические вещества, сколько комплекс соединений, одновременно присутствующих в воде. Поэтому важно оценить качество воды не только по отдельным загрязняющим веществам, но и по их комплексам.

Комплексный метод оценки качества воды основан на использовании нескольких гидрохимических показателей. При наличии в воде ряда загрязняющих веществ, имеющих комбинированное действие, сумма гидрохимических показате-

телей превышения ПДК для них не должна быть больше единицы, т.е.

$$\sum_{i=1}^n C_i / ПДК_i \leq 1.$$

Для характеристики качества воды обычно используют индексы качества, которые устанавливаются на основе экспериментальных исследований, теоретических расчетов или специальной экспертизы [123]. Известны также методы комплексной оценки объектов окружающей среды по набору различных показателей [124-127]. В том числе, предложен целый ряд методик для комплексной оценки качества воды по гидрохимическим показателям [128-132].

Исследование уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды угледобывающими предприятиями ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», а также анализ качества воды, отобранной по течению р. Самара на территории промышленной зоны Западного Донбасса, проводились комплексными методами, поочередно изложенными ниже.

1. Исследование качества воды по веществам с одинаковым лимитирующим признаком вредности, в частности по органолептическому ЛПВ (K_p) [133, 134]. К нормативным гидрохимическим показателям, влияющим на органолептические свойства воды, относят мутность (наличие взвешенных веществ), содержание хлоридов, сульфатов, железа, нефтепродуктов, марганца. Перечисленные показатели относятся к химическим элементам III-IV класса опасности, поэтому степень опасности шахтной воды, откачиваемой угледобывающими предприятиями, и воды р. Самара на территории промышленной зоны Западного Донбасса, а также уровень ее загрязнения оценивались непосредственно для этих веществ.

Качество воды и уровень ее загрязнения по полученным значениям коэффициента K_p оценивалось в соответствии с классификацией, указанной в приложении В (табл. В.1), а результаты расчетов значений коэффициента K_p по органолептическому ЛПВ, а также степень экологической опасности и уровень загрязнения воды представлены в приложении Г (табл. Г.1.1-Г.1.2) и на рис. 2.5.

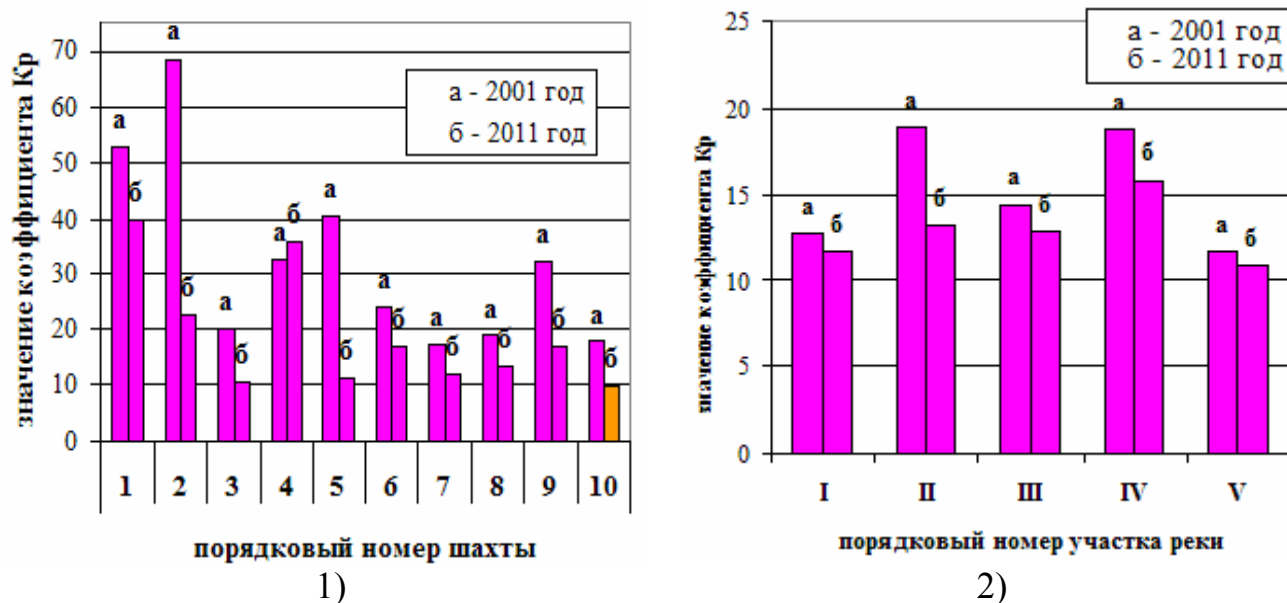


Рис. 2.5. Результаты исследования уровня загрязнения: 1) – шахтной воды и 2) – воды р. Самара на территории промышленной зоны Западного Донбасса по органолептическому ЛПВ (степень экологической опасности: ■ – опасная с высоким уровнем загрязнения; ■ – потенциально опасная с низким уровнем загрязнения)

Установлено, что в результате повышенного содержания химических веществ, влияющих на органолептические свойства шахтной воды и р. Самара на территории промышленной зоны Западного Донбасса, ее качество оценивалось как «опасное» с высоким уровнем загрязнения учитываемыми при оценке веществами. Исключение составляет шахта «Юбилейная» (2011 год), качество воды которой оценивается как «потенциально опасное» с низким уровнем загрязнения химическими веществами. Следует отметить, что полученные значения коэффициента K_p в 2011 году практически по всем шахтам и анализируемым участкам р. Самара существенно ниже (в 1,1-3,7 раза), по сравнению с 2001 годом. Исключение составляет шахта «Западно-Донбасская», где значение коэффициента K_p несколько увеличилось в связи с ежегодным повышением содержания в шахтной воде хлоридов и, как следствие, сухого остатка.

2. Исследование качества воды по интегральному гидрохимическому показателю – индексу загрязнения воды (ИЗВ) [127, 135]. Качество шахтной воды и р. Самара в пределах промышленной зоны Западного Донбасса по ИЗВ оценивалось по семи показателям, фактическое содержание которых превышало их ПДК (нормативное значение), а именно: содержание взвешенных веществ, хлоридов, сульфатов, сухого остатка, железа, марганца и нефтепродуктов. По полученным значениям индекса ИЗВ оно оценивалось в соответствии с классификацией указанной в приложении В (табл. В.2), а результаты расчетов индекса и оценки качества воды представлены в приложении Г (табл. Г.2.1-Г.2.2) и на рис. 2.6.

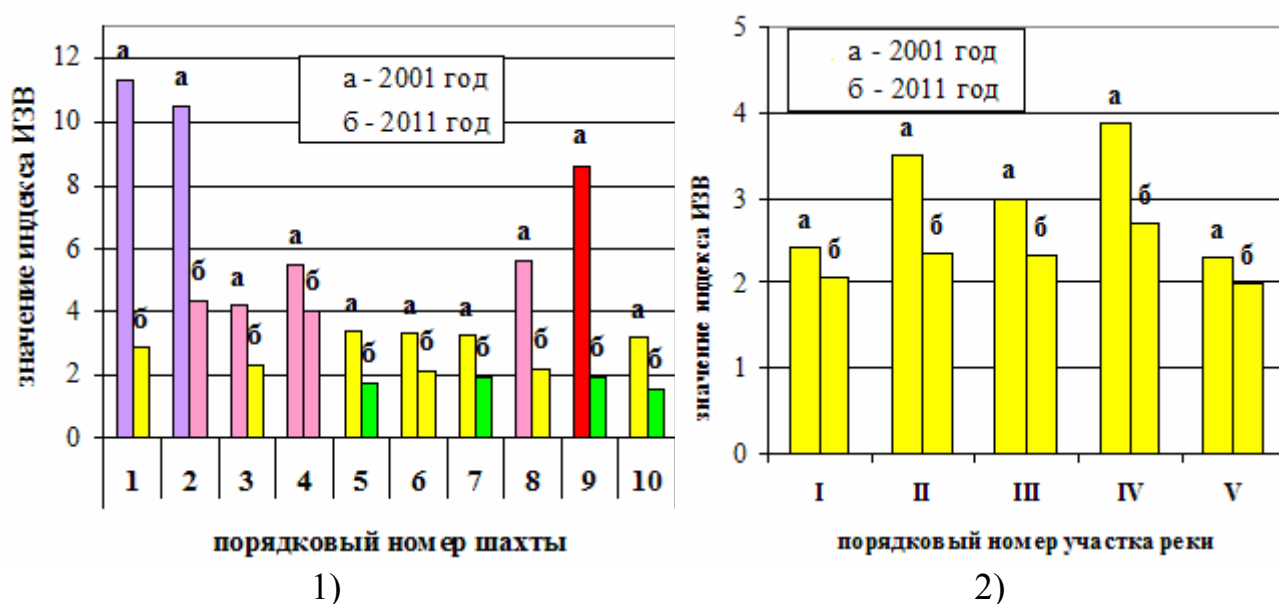


Рис. 2.6. Результаты исследования уровня загрязнения: 1) – шахтной воды и 2) – воды р. Самара на территории промышленной зоны Западного Донбасса по ИЗВ (качество воды: ■ – чрезвычайно грязная; ■ – очень грязная; ■ – грязная; ■ – загрязненная; ■ – умеренно загрязненная)

Установлено, что качество шахтной воды по величине индекса ИЗВ в 2001 году оценивалось как «чрезвычайно грязная», «очень грязная», «грязная» и «загрязненная». К 2011 году значения индекса ИЗВ по шахтам Западного Донбасса уменьшились в 1,4-4,6 раза. В результате, качество шахтной воды несколько улучшилось и было оценено как «грязная», «загрязненная» и «умеренно загряз-

ненная».

Качество воды р. Самара на территории промышленной зоны Западного Донбасса, и в 2001, и в 2011 годах оценивалось как «загрязненная». Несмотря на это, к 2011 году состояние воды р. Самара несколько улучшилось. В среднем значения индекса ИЗВ за рассматриваемый период времени (2001, 2011 годы) уменьшились в 1,2-1,5 раз.

3. Исследование качества воды по ее химическому составу с помощью величин обобщенной функции желательности (ОФЖ) [136, 137]. (Эффективность применения ОФЖ для решения задач прикладной экологии была продемонстрирована в работах [124, 128, 138-140]).

Оценка качества шахтной воды и р. Самара на территории промышленной зоны Западного Донбасса с помощью величин ОФЖ проводилась на основе частных функций желательности по содержанию веществ I-IV класса опасности. В частности, – содержанию: хлоридов, сульфатов, сухого остатка, нефтепродуктов, азота аммонийного, нитритов, железа, марганца, меди, цинка, никеля, хрома, кобальта, величин БПК_п и ХПК, а также по наличию в воде взвешенных веществ.

Промежуточные расчеты величин ОФЖ представлены в приложении Г (табл. Г.3.1-Г.3.15). Качество воды по полученным величинам ОФЖ оценивалось в соответствии с классификацией указанной в приложении В (табл. В.3). Результаты расчетов величин ОФЖ, а также уровень загрязнения воды представлены в приложении Г (табл. Г.4.1-Г.4.2) и на рис. 2.7.

Установлено, что качество шахтной воды по величине ОФЖ в 2001 году оценивалось как «очень грязная», «грязная» и «загрязненная». К 2011 году значения величин ОФЖ по шахтам ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» увеличились в 1,1-6 раз. Как следствие, качество воды улучшилось и перешло в категории «грязная», «загрязненная» и «умеренно загрязненная».

Качество воды р. Самара на территории промышленной зоны Западного Донбасса, в 2001 году оценивалось как «умеренно загрязненная» – на входе и выходе из промышленной зоны, и «загрязненная» – в остальных случаях. К 2011 году значения величин ОФЖ увеличились в 1,1-1,5 раза. При этом качество воды

было оценено как «умеренно загрязненная». Исключение составил участок р. Самара ниже сброса из пруда-накопителя шахтных вод, расположенного в балке Свидовок (точка IV), где качество воды так и продолжает относиться к категории «загрязненная».

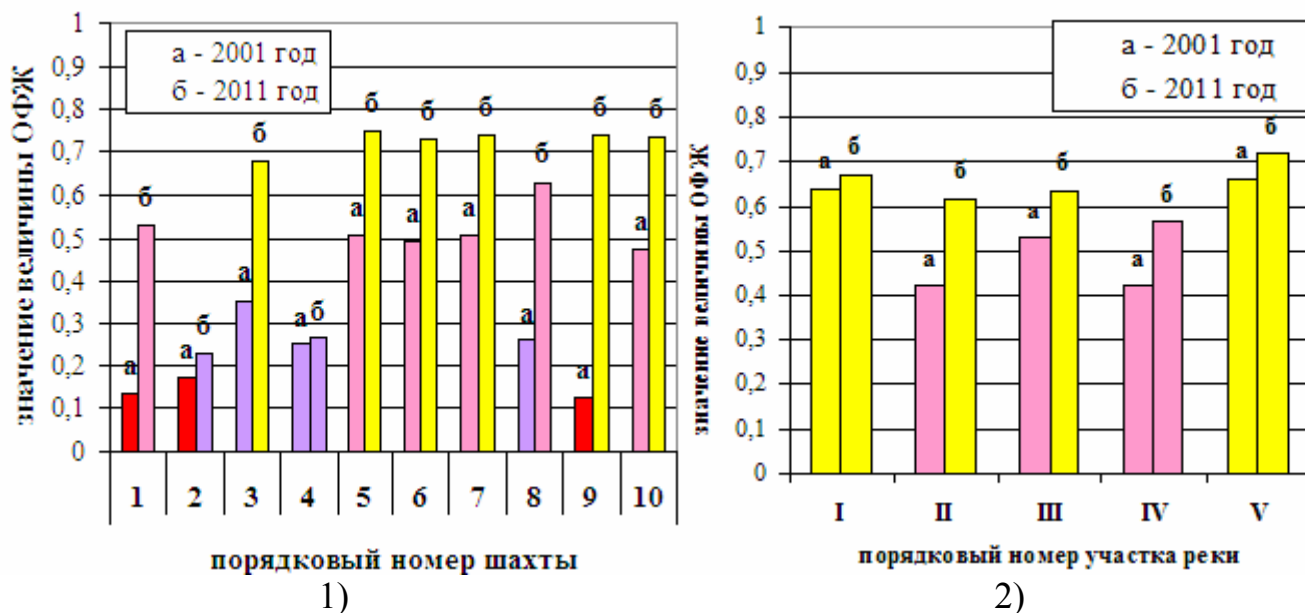


Рис. 2.7. Результаты исследования уровня загрязнения: 1) – шахтной воды и 2) – воды р. Самара на территории промышленной зоны Западного Донбасса по величине ОФЖ (качество воды: ■ – очень грязная; ■ – грязная; ■ – загрязненная; ■ – умеренно загрязненная)

4. *Исследование качества воды по комплексному экологическому коэффициенту.* Исследование проводилось графическим методом, в основе которого лежит составление так называемой, модель-карты качества воды и определение на ее основе величин комплексного экологического коэффициента $K_{\text{ЭКВ}}$ [141].

На основании данных о значениях гидрохимических показателей, по которым величины кратности превышения ПДК (норматива) являются наибольшими, а именно: наличие взвешенных веществ, хлоридов, сульфатов, сухого остатка, марганца, железа, нефтепродуктов, БПК_п, построены графические модели качества воды. Промежуточные расчеты величин комплексного экологического коэффициента $K_{\text{ЭКВ}}$ качества воды представлены в приложении Г (рис. Г.1-Г.15). Полу-

ченные значения $K_{\text{ЭКВ}}$ сравнивались со шкалой, представленной в приложении В (табл. В.4), на основании которой устанавливался класс загрязненности воды. Результаты расчетов комплексного экологического коэффициента $K_{\text{ЭКВ}}$, а также класс загрязнения воды представлены в приложении Г (табл. Г.5.1-Г.5.2) и на рис. 2.8.

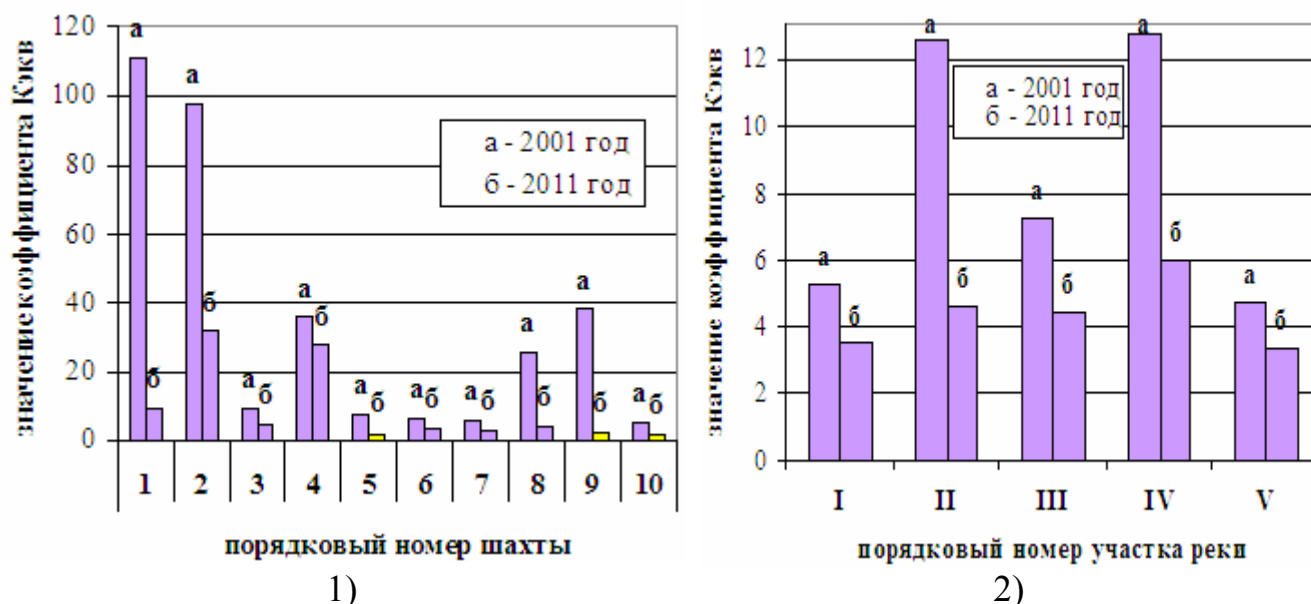


Рис. 2.8. Результаты исследования качества: 1) – шахтной воды и 2) – воды р. Самара на территории промышленной зоны Западного Донбасса по комплексному экологическому коэффициенту (уровень экологической опасности загрязнения воды: – очень высокий; – высокий)

Установлено, что в 2001 году и уровень экологической опасности загрязнения шахтной воды угледобывающих предприятий, и вода р. Самара на территории промышленной зоны Западного Донбасса, относятся к «очень высокому». В 2011 году значения коэффициента $K_{\text{ЭКВ}}$ во всех пробах существенно снизились (в 1,4-14,8 раз), однако уровень экологической опасности загрязнения воды в большинстве случаев не изменился. Исключение составили шахты «Павлоградская», «Герновская» и «Юбилейная», где уровень экологической опасности загрязнения воды изменился на «высокий».

Для обобщения результатов исследования уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в р. Самара в пределах промышленной зоны

Западно-Донбасского региона комплексным методом оценки качества воды за 2011 год составлена сводная табл. 2.1.

Таблица 2.1

Результаты исследования уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в р. Самара на территории Западного Донбасса комплексным методом оценки качества воды

Наименование гидрохимического показателя качества воды	Количественные и качественные значения гидрохимического показателя качества воды, отобранной в р. Самара на территории Западного Донбасса				
	до сброса шахтной воды	после сброса шахтной воды	до сброса шахтной воды	после сброса шахтной воды	на выходе из промышленной зоны Западного Донбасса
1. Органолептический признак вредности: - степень экологической опасности	11,69	13,3	12,87	15,8	10,94
	опасная				
2. Интегральный показатель гидрохимического загрязнения воды: - качество воды	2,06	2,36	2,33	2,72	2,01
- класс опасности загрязнения воды	загрязненная				
	IV				
3. Обобщенная функция желательности: - качество воды	0,673	0,617	0,638	0,566	0,717
- класс опасности загрязнения воды	умеренно загрязненная			загрязненная	умеренно загрязненная
	II			III	II
4. Комплексный экологический коэффициент: - уровень экологической опасности	3,48	4,57	4,4	5,99	3,3
	очень высокий				

Анализ данных табл. 2.1 позволил установить зависимость уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в р. Самара на территории Западно-Донбасского региона от комплекса гидрохимических показателей качества самарской воды. Так, после сброса загрязненной шахтной воды в р. Самара из прудов-накопителей уровень экологической опасности увеличивается в 1,1-1,4

раза, по сравнению с участками реки, где сброс загрязненной шахтной воды существенно не влияет на ее качество (до сброса шахтной воды из прудов-накопителей и на выходе из промышленной зоны Западного Донбасса). Кроме того, в водах р. Самара на выходе из промышленной зоны Западно-Донбасского региона отмечается повышение уровня экологической безопасности в 1,3-1,8 раз за счет естественных процессов самоочищения реки.

Таким образом, оценка уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды угледобывающими предприятиями ПАО «ДТЭК Павлоград-уголь» дифференциальными и комплексными методами, показала, что по большинству анализируемых гидрохимических показателей, характеризующих качество воды, наблюдается значительное превышение установленных ПДК (нормативных значений) за рассматриваемый период времени (2001, 2011 годы). Поскольку условие $C_i / ПДК_i \leq 1$ в большинстве случаев не выполняется, уровень загрязнения откачиваемой воды становится довольно высоким, а ее качество, естественно, не соответствует требованиям существующего водоохранного законодательства, что подтверждается результатами исследований гидрохимического (экологического) состояния шахтной воды комплексным методом с помощью различных показателей и коэффициентов. При этом существенную роль в загрязнении воды играют взвешенные в ней вещества, которые либо содержат в себе многие химические загрязнители, либо сорбируют тяжелые металлы. Как следствие, сброс загрязненной шахтной воды представляет экологическую опасность для близлежащих поверхностных водоемов, качество воды в которых также не отвечает установленным нормативным значениям для водных объектов соответствующей категории. Это делает воду р. Самара непригодной для хозяйственно-бытового и технического водоснабжения, а также она теряет свое рыбохозяйственное значение. Кроме того, воды р. Самара используются для орошения сельскохозяйственных угодий, что может негативно повлиять на состояние наземных агроэкосистем и качество сельскохозяйственной продукции. Содержащиеся в шахтной воде химические веществ-

ва изменяют не только состав поверхностных водоемов, но и представляют повышенную экологическую опасность для гидробионтов и здоровья населения.

2.2. Обоснование методики определения степени очистки шахтной воды от взвешенных веществ

Принимая во внимание выполненный анализ загрязненности шахтной и речной воды в районе интенсивных сбросов и существенную роль взвешенных веществ, а так же рассмотренные известные варианты расчета отстойных сооружений [74, 96, 97, 109, 142-149], нами принят метод гидравлического расчета горизонтальных отстойников, в основу которого положено технологическое моделирование процесса оседания взвеси [150, 151]. Этот метод опирается на современные воззрения гидромеханики на процесс оседания взвешенных веществ. Он предполагает взаимосвязь скорости движения воды и глубины отстойника, в отличие от ранее практиковавшегося метода расчета, когда эти важнейшие факторы, влияющие на оседание взвеси, просто принимались по конструктивным соображениям. Метод основан на седиментационном анализе проб конкретного вида загрязненной воды, поэтому более точен, чем метод, основанный на элементарной теории отстойников [74]. По данным кинетики выпадения частиц для конкретной сточной воды, выбранный метод позволяет рассчитать отстойник по задаваемому (требуемому) эффекту осветления (очистки) воды. Согласно методу, исходными данными для проектирования горизонтального отстойника служат экспериментальные зависимости между продолжительностью отстаивания воды и количеством взвешенных веществ, выпавших за это время в осадок.

Расчет горизонтального отстойника заключается в определении его длины и ширины при заданной глубине и величине процента задержания взвеси, который следует определять в статических условиях и полученные данные применять при расчетах производственных сооружений, как рекомендуется в работе [146].

Определение основных параметров отстойника может базироваться на следующих положениях:

- горизонтальная скорость движения воды принимается по всей глубине отстойника постоянной и равной ее средней величине;
- траектория движения частицы взвеси в отстойнике определяется с учетом вертикальной составляющей скорости, направленной вверх;
- размеры отстойника рассчитывают исходя из условия, что частицы, находящиеся в момент впуска воды в отстойник в верхнем слое потока, задерживаются, и что траектория их движения в процессе оседания пересекает плоскость дна отстойника.

Следует отметить, что не один из предложенных методов и способов расчета горизонтального отстойника не учитывает полностью всех процессов и явлений, происходящих при отстаивании. Поэтому они потребуют уточнения при усовершенствовании конструкции отстойника. В частности при обосновании оригинальной конструкции отстойника, предложенной с участием автора, исследование которой приводится в последующих разделах диссертации.

2.2.1. Исследование процесса оседания частиц на физических моделях и выбор критерия подобия их осаждаемости

Существующие горизонтальные отстойники, применяемые для очистки воды, являются проточными, поэтому оседание взвешенных частиц в них происходит при непрерывном движении воды от места подачи загрязненных стоков до выпуска осветленной жидкости.

В общем случае, процесс оседания взвеси в проточной воде протекает несколько иначе. Реальная полидисперсная взвесь при движении воды или укрупняется, или разрушается, т.е. ее фракционный состав не является постоянным, установившимся. Вместе с тем, выпадение взвешенных частиц в потоке, который движется с очень малой скоростью (мм/с) подчиняется по В.Г. Турчиновичу [74], законам осаждения в недвижимом объеме жидкости. Иначе говоря, частицы взвешенных веществ в отстойнике выпадают так же, как и в недвижимом объеме воды, с той лишь разницей, что этот объем перемещается в горизонтальном на-

правлении со скоростью движения воды в отстойном сооружении.

Лабораторные исследования предполагают изучение процесса оседания частиц на физических моделях в виде различных емкостей, например стеклянных стаканов цилиндрической формы или специально изготовленных седиментаторов, а также макетов отстойников. Проанализируем известные результаты исследований на таких моделях для полидисперсной взвеси, приведенные в работах [152-155]. Так, результаты лабораторных исследований отстаивания сточных вод в состоянии покоя, приведенные в работе [99], свидетельствуют о том, что оседание полидисперсных взвешенных веществ сопровождается агломерацией частиц и постепенным их укрупнением. Основной причиной агломерации частиц является гравитационная или ортокинетическая коагуляция – столкновение и слипание частиц в результате гидродинамического взаимодействия частиц различной крупности и массы, оседающих с разной скоростью.

В процессе оседания взвешенных веществ размер, плотность и форма частиц, а также физические свойства полидисперсной системы непрерывно изменяются. Именно это усложняет установление закономерностей процесса оседания взвешенных в шахтной воде частиц без предварительного исследования кинетики их выпадения в осадок, необходимые данные о которой, на современном этапе, можно получить только экспериментальным путем при осветлении сточной воды в состоянии покоя.

Строго обоснованной теории оседания взвеси нет, поскольку ни одна из известных аналитических зависимостей не учитывает всех условий отстаивания (оседание в стесненных условиях, агломерацию, изменение формы и плотности частицы в процессе ее выпадения). Поэтому, наиболее надежным путем установления достоверной скорости оседания (гидравлической крупности) той или иной частицы взвеси является проведение лабораторных исследований по их седиментации.

Методы физического моделирования процесса оседания основаны на подобию кривых выпадения взвешенных частиц, построенных при разных высотах столба осветляемой воды. Благодаря этому можно моделировать этот процесс в

лабораторных цилиндрах-седиментаторах с небольшой высотой уровня жидкости. Это позволяет сравнительно быстро определить необходимые параметры для расчета реальных отстойников с высоким уровнем воды. (Уместно отметить, что до настоящего времени метод определения кинетики выпадения взвешенных частиц из сточных вод не стандартизован.)

Определение скорости оседания взвешенных частиц (гидравлической крупности) в цилиндрах с конусным дном рекомендовано в методике [156]. Согласно этой методике, пробы сточной воды, в которой предварительно определяют исходную концентрацию взвешенных веществ – C_0 , мг/л, отстаивают в цилиндре-седиментаторе из органического стекла диаметром 120 мм и рабочей высотой 540 мм. Нижняя часть цилиндра выполнена в виде конуса с краном для выпуска образовавшегося осадка. Коническая часть цилиндра градуирована для замера объема выпавшего осадка. Через определенные, постепенно увеличивающиеся промежутки времени, осадок, который накопился на дне цилиндра, выпускают через кран, устроенный в конической части. Отобранные пробы суспензии фильтруют через бумажные фильтры средней плотности. Предварительно перед фильтрованием на аналитических весах определяют массу бумажного фильтра (M , мг). Фильтр с осадком высушивают в сушильном шкафу при температуре 105 °С в течение часа (до постоянной массы), охлаждают и взвешивают.

Массовую концентрацию частиц взвеси в осадке цилиндра-седиментатора за установленные промежутки времени, определяют по формуле:

$$C = \frac{(M_1 - M)}{W}, \quad (2.1)$$

где M и M_1 – масса бумажного фильтра до и после фильтрования пробы суспензии, мг; W – объем отбираемой пробы суспензии, л.

Эффект осветления воды определяется по относительному количеству частиц, выпавших в осадок, за установленные промежутки времени, по формуле:

$$P = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

где C_0 – концентрация взвешенных веществ в осветляемой воде, мг/л; C – их концентрация в осветленной воде, мг/л.

По полученным данным строится график зависимости количества выпавшей взвеси от продолжительности отстаивания загрязненной воды в цилиндрах. На графике по оси абсцисс откладывают продолжительность отстаивания, а по оси ординат – относительные количества выпавшего осадка (P). Полученная кривая характеризует осаждаемость взвешенных частиц в стационарных условиях при установленной высоте лабораторных цилиндров. С ее помощью можно определить среднюю гидравлическую крупность полидисперсной взвеси, т.е. среднюю скорость ее оседания, соответствующую заданному проценту выпадения взвешенных частиц (P) по формуле:

$$U = \frac{h}{t}, \quad (2.3)$$

где h – высота слоя жидкости в цилиндре-седиментаторе, мм; t – продолжительность отстаивания, соответствующая высоте h , с.

Условие, при котором в цилиндрах разной высоты обеспечиваются равные эффекты осветления сточных вод, служит критерием седиментационного подобия.

Выпадающие в осадок взвешенные частицы, во время движения сталкиваются между собой, вследствие чего происходит их укрупнение (агломерация), увеличивающее скорость оседания. В этом случае, критерий (условие) седиментационного подобия выражается нелинейным соотношением [110]:

$$\frac{t}{T_i} = \left(\frac{h}{H_i} \right)^n, \quad (2.4)$$

где t – продолжительность отстаивания (сек.) в цилиндре-седиментаторе высотой $h=54$ см; T_i – продолжительность отстаивания воды (мин.) для достижения одинакового эффекта осветления (проценте выпадения взвеси P) при высоте уровня воды, равной глубине отстойника H_i (м); n – показатель степени, характеризующей способность частиц к агрегации при отстаивании в покое (для шахтной воды $n=0,35$ [26]).

Это дает простое правило пересчета времени, необходимого для получения заданного эффекта осаднения по результатам технологического моделирования.

Уравнение (2.4) и следует использовать для технологического анализа (моделирования) осветления сточной воды при расчете отстойников. Для этого необходимо определить продолжительность отстаивания воды T_i до достижения одинакового эффекта осветления, которую найдем, решая уравнение (2.4) относительно T_i :

$$T_i = t \cdot \left(\frac{H_i}{h} \right)^n. \quad (2.5)$$

По вычисленным значениям T_i и соответствующим им количеству выпавшей в осадок взвеси P , строят кривую выпадения взвешенных веществ при высоте уровня воды, равной глубине проектируемого отстойника H_i . При этом величину средней скорости оседания частиц (гидравлическую крупность) определяют по формуле (2.3).

2.2.2. Исследование процесса оседания коагулированной взвеси и определение его параметров

Каждый из компонентов взвешенной примеси, содержащейся в шахтной воде, оказывает определенное влияние на формирование агрегативной и седиментационной устойчивости взвеси. В шахтной воде содержится довольно много мелкодисперсных частиц глины, а также частички органического вещества, которые влияют на указанную устойчивость. Эти частицы нельзя осадить даже длительным отстаиванием, поскольку они являются коллоидными. Их размеры условно находятся в интервале 0,1-0,001 мкм. Они образуют устойчивые системы, по внешним признакам сходные с истинными растворами. Характерной особенностью коллоидных частиц является образование двойного электрического слоя, одна часть которого (неподвижная) соприкасается с поверхностью дисперсной частицы, а другая (диффузная) образована ионным облаком. Разность потенциалов между подвижной и неподвижной частями двойного слоя характеризуется электрокинетическим потенциалом – ξ , который обеспечивает устойчивость коллоидной системы. Коллоидные частицы в воде несут на себе одноименные элект-

трические заряды, как правило, отрицательные, и поэтому, взаимно отталкиваясь, держатся во взвешенном состоянии.

Для очистки шахтной воды, образующей коллоидно-дисперсную систему, необходимо провести разделение жидкой и твердой фазы. Интенсифицировать процесс разделения, то есть нарушить агрегативную устойчивость такой системы, можно за счет укрупнения частиц в агрегаты под действием коагулянтов с дальнейшим отделением агрегированных частиц отстаиванием. Оседание их возможно после снижения их зарядов, что достигается введением в воду противоположно заряженных коллоидных частиц коагулянта (обычно это соли металлов, образующие гидроокиси).

В качестве коагулянтов для обработки шахтной воды широкое распространение получил сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (сернокислый глинозем) [157], который при растворении в воде подвергается гидролизу с образованием коллоидного гидроксида алюминия $Al(OH)_3$, который в нейтральной и слабощелочной среде приобретает положительный заряд в результате адсорбции ионов водорода и алюминия. Благодаря противоположным знакам зарядов гидроокиси и примеси, содержащейся в воде, происходит процесс понижения их ξ -потенциалов (нейтрализация электрических зарядов частиц обоих коллоидов), т.е. силы отталкивания слабеют, а потом полностью исчезают. Это приводит к слипанию частиц загрязнителя с коллоидными частицами гидроокиси. При этом увеличивается скорость гравитационного оседания образовавшихся хлопьев, которые, сталкиваясь между собой, образуют все более крупные системы, быстро выпадающие в осадок.

Как видим, коагулянт нарушает агрегативную устойчивость коллоидной системы. В результате его применения, помимо взвешенных частиц, из шахтной воды могут быть достаточно полно удалены органические коллоидные загрязнители, некоторые растворенные вещества, в том числе обладающие поверхностно-активными свойствами, включая соединения фосфора, соли тяжелых металлов и т.д. Удаление тяжелых металлов происходит в результате сорбции и соосаждения их гидроокислов, интенсивность которого зависит от pH очищаемой воды и

свойств самих металлов.

Скорость гидратации коагулянта снижается при низкой температуре и зависит от величины рН воды. Так, при обработке воды сульфатом алюминия наилучшее оседание частиц достигается при рН от 6 до 8.

Основным параметром процесса очистки воды с использованием коагулянта является доза последнего, которая должна приниматься с учетом количества взвешенных веществ, содержащихся в шахтной воде, и степени их дисперсности, поскольку, в частности, с уменьшением размера частиц увеличивается удельный расход коагулянта. Необходимые дозы коагулянта должны назначаться в соответствии с данными лабораторного анализа воды [158] до получения хороших хлопьев в течение 40-50 мин.

Лабораторные и промышленные исследования реагентной обработки шахтной воды (с использованием коагулянта – сульфата алюминия) в различных угольных бассейнах показали, что его дозу следует принимать в зависимости от мутности исходной воды. Так, для шахтной воды с содержанием взвешенных веществ 200 мг/дм^3 доза коагулянта составляет $35\text{-}40 \text{ мг/дм}^3$ [143]. При его введении в обрабатываемую воду важно обеспечить равномерность распределения в объеме воды. С одной стороны, интенсивность перемешивания должна обеспечивать максимально возможное контактирование отдельных агрегатов между собой, а с другой, – она не должна вызывать разрушение образующихся хлопьев.

Определение времени оседания агрегатов частиц проводят экспериментально, путем отстаивания воды в статических условиях, согласно рекомендациям [159]. Для этого шахтную воду, содержащую взвешенные вещества в количестве 200 мг/дм^3 , наливают в лабораторные мерные цилиндры емкостью 1000 см^3 (мл). После добавления раствора коагулянта (сульфата алюминия), в количестве 35 мг/дм^3 , воду перемешивают, путем десятикратного опрокидывания закрытых пробкой цилиндров. Через определенные промежутки времени (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 и 120 мин.) из цилиндров отбирают пробы воды, в которых по формуле (2.2) определяют остаточную концентрацию взвешенных веществ.

2.2.3. Обоснование критериев подобия для физического моделирования горизонтального отстойника

Следует отметить, что вопросы гидравлического моделирования отстойников и выбор критериев подобия рассматривались многими авторами с различных позиций, что не всегда дает возможность конкретного сравнения и оценки результатов исследований.

В настоящее время при изучении различных гидравлических процессов и их моделирования широкое применение нашли экспериментальные методы исследования.

Достоинством экспериментального метода является возможность изготовления гидравлической модели отстойника (действующего макета) в определенном масштабе и использование в ней любой жидкости (той же, что и в натуре, или какой-либо иной). Выбор параметров модели определяется условиями подобия и практическими соображениями. Обычно, как показано в предыдущем разделе, при физическом моделировании исследуемая модель выполняется меньше натурального объекта. Такая уменьшенная модель должна воспроизводить изучаемое явление с сохранением его физической природы, что существенно удешевляет и упрощает проведение экспериментов. Очевидно, что выбор режима движения жидкости в модели должен соответствовать режиму в натуральных условиях и опираться на теорию гидродинамического подобия и соответствующих законов подобия [160].

Два потока жидкости считаются гидродинамически подобными, если все параметры, характеризующие их движение, взаимно пропорциональны во всех сходных точках.

Гидравлические системы природы и модели *геометрически подобны*, в случае если имеет место постоянное линейное соотношение между размерами элементов этих систем:

$$\frac{L_n}{L_m} = \frac{d_n}{d_m} = \frac{l_n}{l_m} = k_L = const \quad (2.8)$$

где L_n – линейный размер элемента природы (длина l_n , диаметр d_n); L_m – сходственный линейный размер элемента модели (l_m, d_m); k_L – линейный масштаб (масштаб геометрического подобия).

Если системы геометрически подобны, то сходственные площади S и объемы W будут иметь следующие соотношения: $S_n = k_L^2 \cdot S_m$ и $W_n = k_L^3 \cdot W_m$.

Для *динамического подобия* сравниваемых потоков необходимо, чтобы в сходных точках гидравлической системы были подобны действующие в них одноименные силы. В гидравлике приходится иметь дело, главным образом, с тремя видами сил – силой тяжести G , давления P и вязкости (трения) T . Соблюдение их пропорциональности на модели и в натуре означает полное гидродинамическое подобие.

В общем случае на любую частицу жидкости действует суммарная сила (F) всех рассматриваемых сил:

$$F = G + P + T, \quad (2.9)$$

где G – сила тяжести; P – сила давления; T – сила трения.

Из условия подобия [161], отношения всех пар сходственных сил природы и модели равны:

$$\frac{G_n}{G_m} = \frac{P_n}{P_m} = \frac{T_n}{T_m} = \frac{F_n}{F_m} = k_F = const, \quad (2.10)$$

где k_F – масштаб сил.

При рассмотрении гидродинамического подобия необходимо учитывать плотность жидкости природы (ρ_n) и модели (ρ_m). Отсюда масштабный множитель плотности равен: $\frac{\rho_n}{\rho_m} = k_\rho = const$.

Согласно первому закону Ньютона (закону инерции):

$$F = m \cdot g = \rho \cdot W^3 \cdot g, \quad (2.11)$$

где m – масса, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; ρ – плотность жидкости, кг/м³; W – объем жидкости, м³.

Если выразить соотношение равнодействующих сил, действующих на две сходственные частицы потока жидкости природы и модели в масштабных множи-

телях, получим:

$$\frac{F_n}{F_m} = \frac{\rho_n \cdot W_n^3 \cdot g_n}{\rho_m \cdot W_m^3 \cdot g_m} = k_F = k_\rho \cdot k_L^3 \cdot k_g. \quad (2.12)$$

Учитывая, что масштабный множитель ускорения выражается в виде $k_g = \frac{k_V^2}{k_L}$, получим:

$$k_F = k_\rho \cdot k_L^2 \cdot k_V^2 = \frac{F_n}{F_m} = \frac{\rho_n \cdot L_n^2 \cdot V_n^2}{\rho_m \cdot L_m^2 \cdot V_m^2}. \quad (2.13)$$

Полученная зависимость (2.13) называется законом гидродинамического подобия Ньютона. Она показывает, что для соблюдения гидродинамического подобия масштаб сил инерции должен быть равен масштабу других сил (F), действующих на гидравлическую систему (под F подразумевается основная сила: сила давления, вязкости (трения), тяжести и др.).

При комплексном действии нескольких сил одновременное выполнение различных законов подобия, требуемое для полного соблюдения условий динамического подобия, оказывается не только весьма сложным, но и не всегда осуществимым. Поэтому при моделировании обычно учитывают только силы, оказывающие преобладающее влияние на исследуемый процесс, и исходят лишь из того закона подобия, который оказывается наиболее существенным в изучаемом гидравлическом явлении. Другими менее значительными силами пренебрегают.

При исследовании предложенного горизонтального отстойника решающей является сила тяжести (течение жидкости в гидротехнических сооружениях, имеющей свободную поверхность). В этом случае основным критерием гидродинамического подобия потоков является критерий Фруда.

Сила тяжести выражается следующим образом:

$$G = m \cdot g = \rho \cdot L^3 \cdot g.$$

Отсюда, масштаб сил тяжести равен:

$$k_T = \frac{G_n}{G_m} = \frac{\rho_n \cdot L_n^3 \cdot g_n}{\rho_m \cdot L_m^3 \cdot g_m}. \quad (2.14)$$

С учетом сил тяжести, основное уравнение гидродинамического подобия

(2.13) принимает вид:

$$\frac{\rho_n \cdot V_n^2 \cdot L_n^2}{\rho_m \cdot V_m^2 \cdot L_m^2} = \frac{\rho_n \cdot L_n^3 \cdot g_n}{\rho_m \cdot L_m^3 \cdot g_m}. \quad (2.15)$$

После некоторых преобразований, окончательно получим:

$$\frac{V_n^2}{g_n \cdot L_n} = \frac{V_m^2}{g_m \cdot L_m} = Fr = \frac{V^2}{g \cdot L}. \quad (2.16)$$

Как видим, для гидродинамического подобия при исследовании течения жидкости, когда преобладающей силой является гравитационная сила, числа Фруда для сходных сечений натурального объекта и его модели должны быть одинаковыми ($Fr_n = Fr_m$), а уравнение (2.16) является условием гидродинамического подобия систем, находящихся под действием силы тяжести.

Поскольку и в натурном объекте (реальном отстойнике) и модели, ускорения силы тяжести практически равны, т.е. $g_n = g_m$, из выражения $\frac{V_n^2}{V_m^2} = \frac{L_n}{L_m} = k_L$ получим

$$\frac{V_n}{V_m} = \sqrt{k_L}. \quad (2.17)$$

Расходы модели и натуре должны находиться в зависимости:

$$\frac{Q_n}{Q_m} = \frac{S_n \cdot V_n}{S_m \cdot V_m} = (k_L)^2 \cdot \sqrt{k_L} = (k_L)^{2,5} \quad (2.18)$$

Отсюда,

$$Q_m = \frac{Q_n}{(k_L)^{2,5}}. \quad (2.19)$$

Масштабный коэффициент времени равен:

$$\frac{t_n}{t_m} = \frac{L_n \cdot V_m}{L_m \cdot V_n} = k_L \cdot \frac{1}{\sqrt{k_L}} = \sqrt{k_L}. \quad (2.20)$$

Отсюда,

$$t_n = t_m \cdot (k_L)^{0,5}. \quad (2.21)$$

Таким образом, при экспериментальных исследованиях и моделировании безнапорных течений в лабораторных условиях (в условиях действующего маке-

та) необходимо, во-первых, обеспечить геометрическое подобие модели и природы при сохранении режима движения жидкости в них, и, во-вторых, соблюсти равенство чисел Фруда $Fr_n = Fr_m$.

Выводы

1. Предложенные методы оценки уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в поверхностные водоемы позволяют оценить качество (степень загрязнения) шахтной воды, откачиваемой угледобывающими предприятиями, и вод р. Самара в пределах промышленной зоны Западного Донбасса с учетом комбинированного действия различных загрязняющих веществ, содержащихся в воде.

2. Проведенные теоретические исследования качества шахтной воды и вод р. Самара в пределах промышленной зоны Западно-Донбасского региона дифференциальными и комплексными методами позволили установить зависимость уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в поверхностные водоемы от комплекса гидрохимических показателей качества воды. Показано, что концентрации загрязняющих веществ в р. Самара после сброса загрязненной шахтной воды из прудов-накопителей увеличиваются на величину до 30% и более, превышая установленные нормативы от 1,2 до 4,2 ПДК.

3. Физическое моделирование процесса оседания взвешенных частиц в лабораторных цилиндрах-седиментаторах позволяет установить зависимости количества выпавшей в осадок взвеси от продолжительности отстаивания загрязненной воды и величин средней скорости их оседания (гидравлической крупности), по результатам которых строят кривые выпадения в осадок частиц различного фракционного состава, определяющие эффективность очистки шахтной воды от взвешенных веществ определенной гидравлической крупности.

4. Соблюдение гидродинамического подобия при физическом моделировании на модели горизонтального отстойника (действующем макете) позволяет воспроизводить изучаемые гидравлические процессы и явления с сохранением их

физической природы, что существенно удешевляет и упрощает проведение экспериментов.

5. Необходимым условием эффективной работы сооружений для очистки шахтной воды является ламинарный режим ее течения в отстойнике (или близкий к нему) и устойчивость потока. Иными словами, усовершенствованная конструкция горизонтального отстойника должна обеспечивать более равномерное распределение скоростей потока воды по его сечению, более полное использование объема, а очистка его от ила должна быть простой, рассчитанной на минимальное количество процессов, и производиться без остановки, что исключит необходимость в буферной емкости, поскольку шахтная вода откачивается практически непрерывно.

6. Предложенная усовершенствованная методика определения рациональных параметров процесса осветления шахтной воды должна предусматривать: определение оптимальных конструктивных (геометрических) размеров отстойника и его технологических показателей, включая, ожидаемую эффективность очистки шахтной воды, и соответствующую ей глубину оседания взвешенных частиц определенной гидравлической крупности.

РАЗДЕЛ 3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОСВЕТЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕННОЙ ШАХТНОЙ ВОДЫ ПО ПРЕДЛОЖЕННОМУ СПОСОБУ

3.1. Физическое моделирование течения и оседания взвешенных частиц на действующем макете предлагаемого отстойника шахтной воды

3.1.1. Суть технического предложения по усовершенствованию горизонтального отстойника

Выполненные теоретические исследования состава шахтной воды показали существенную роль в формировании экологической опасности ее сброса, в частности в р. Самара, содержащихся в ней взвешенных веществ, которые либо содержат в себе многие химические загрязнители, либо сорбируют тяжелые металлы. Поэтому отмечена важность эффективного отстаивания загрязненной шахтной воды перед ее сбросом.

Анализ работы существующих шахтных горизонтальных отстойников, выполненный в первом разделе, позволил выявить их недостатки. Главный из них, – низкий эффект осветления воды, который обычно не превышает 30%, что делает сбросы экологически опасными. Для устранения этого недостатка, при участии автора, предложена конструкция проточного горизонтального отстойника шахтной воды с прогнозируемой повышенной эффективностью очистки от механических примесей полидисперсного состава [162]. Схема отстойника представлена на рис. 3.1.

Главным отличием предложенной конструкции отстойника от известных является то, что его корпус выполнен в виде желоба, который сужается по направлению к сливному отверстию 2 при одновременном увеличении глубины – H . Внутри желоба последовательно размещаются поперечные вертикальные перфорированные перегородки переменной высоты – h_i и ширины – b_i , площади которых соответствуют сечению корпуса отстойника. Перегородки разделяют отстой-

ник на несколько секций и имеют отверстия, которые разбивают поток осветляемой воды на множество отдельных струй. Это должно способствовать выравниванию скорости потока в сечениях корпуса отстойника и обеспечить интенсивное оседание частиц взвеси из потока, течение которого должно быть близко к ламинарному.

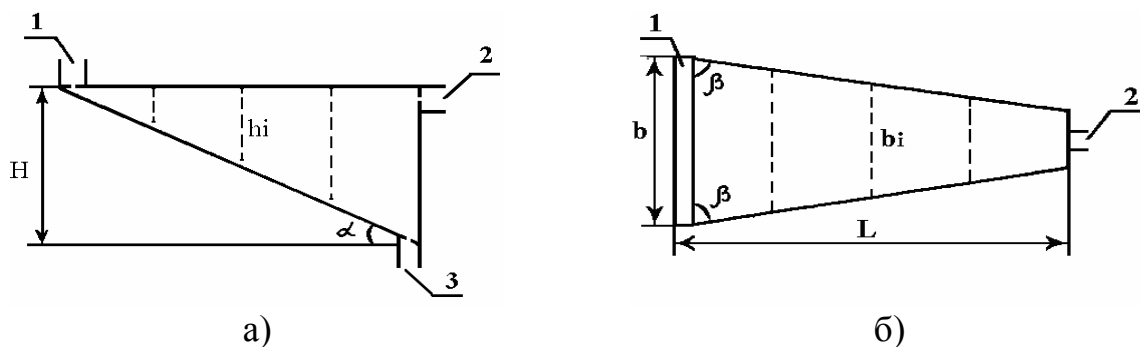


Рис. 3.1. Схема горизонтального отстойника усовершенствованной конструкции: а – вид сбоку; б – вид сверху

Согласно рис. 3.1, загрязненная вода поступает в лоток 1. Осветленная (очищенная) вода отводится через сливное отверстие 2. Образовавшийся илистый осадок сползает по наклонному дну. Для этого между днищем и перегородкой предусматривается зазор. Уплотненный осадок в виде шлама должен выводиться через отверстие 3 без остановки работы отстойника.

Предложенная конструкция отстойника предусматривает формирование равномерного ламинарного потока очищаемой воды. При этом сечение потока изменяется от не глубокого, но широкого – в области впуска загрязненной шахтной воды, до узкого, но глубокого – в области слива осветленной воды. По мере движения воды, взвешенные частицы будут оседать на все большую глубину. Поэтому в области слива предполагается образование достаточно высокого слоя осветленной воды, что позволит сливать ее с минимальным захватом ила, который собирается ближе к днищу отстойника.

Повышение эффективности гравитационного оседания взвеси, в сравнении с традиционными отстойниками, ожидается по двум направлениям.

1. За счет того, что в мелкой (не глубокой) части отстойника успеют быстро осесть на дно наиболее крупные частицы, которые, попадая в придонный слой ила, где скорость потока воды приближается к нулю, практически уже не взмучиваются и выбывают из процесса последующего оседания. В результате, по мере перемещения загрязненной воды по длине отстойника в процессе оседания участвует существенно меньшее количество частиц, причем все более мелких.

2. За счет транспортирующей способности потока, который при сужении отстойника в плане направляется в возрастающую глубину, перенося туда частицы. В результате, складываются векторы скорости оседания частицы и направленной вниз вертикальной составляющей потока воды.

Для физического моделирования гидравлического режима течения очищаемой воды и оседания взвешенных частиц разработан действующий макет предложенного горизонтального отстойника в масштабе 1:20 натуральной величины (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Действующий макет отстойника масштабом 1:20 (далее макет)

Макет изготовлен из прозрачного оргстекла, что позволило проводить на нем экспериментальные исследования с визуализацией процесса течения окрашиваемой жидкости и оседания взвеси. С учетом поправки на толщину оргстекла, которая выбрана 0,5 см для обеспечения достаточной прочности, а также принятого масштаба 1:20, параметры макета выбраны следующими:

- длина макета $L=101-1=100$ см;
- начальная ширина $B_0=51-1=50$ см;
- конечная ширина принята равной $B_K=26-1=25$ см;
- начальная высота $H_0=0$ см;
- конечная высота (глубина) на выходе осветленной жидкости из макета принята равной $H_K=60,5-0,5=60$ см;

- угол наклона днища корпуса макета к горизонтальной плоскости (α) составил 30° . Такой угол наклона обеспечивает равномерное сползание образовавшегося осадка по наклонному желобу в нижнюю часть корпуса к приемному бункеру, а конструкция с наклоном днища в сторону отверстия для слива исключает взмучивание образующегося осадка и повышает эффективность разделения очищенной воды и выпадающей на дно взвеси;

- β – углы сужения макета, подобранные так, чтобы обеспечить приблизительно одинаковое сечение всех распределительных перегородок, установленных по направлению движения рабочего потока, и составляют 82° .

При заданной длине L и конечной высоте H_K макета уточняем значения углов α и β с учетом поправки на толщину стенок макета из оргстекла.

Поскольку $tg\alpha = \frac{H_K}{L} = \frac{60}{100} = 0,6$, то угол α составляет $29^\circ 40'$.

Так как $tg\beta = \frac{L}{\left(\frac{B_0 - B_K}{2}\right)} = \frac{100}{\left(\frac{50 - 25}{2}\right)} = \frac{100}{12,5} = 8$, то углы β составят $82^\circ 53'$.

Подача очищаемой от взвеси воды в рабочую зону макета осуществляется через незатопленный струераспределительный лоток, рабочая длина которого составила 40 см, ширина – 8 см, а высота – 10 см, а диаметр водоподающих отверстий на дне этого лотка выбран $d=0,45$ см.

Сбор осветленной воды предложено осуществлять через водосборный карман, расположенный на наружной стороне сливного торца корпуса. Ширина водосборного кармана соответствует конечной ширине корпуса макета – 25 см, высота составляет 8 см, а длина – 9 см.

В качестве вертикальных перегородок служат перфорированные металличе-

ские листы с отверстиями круглого сечения, диаметр которых предварительно выбран $d=0,45$ см. Эти листы закреплены в рабочей зоне макета. Они практически полностью перекрывают поток осветляемой воды в макете, и служат для выравнивания ее скорости. Первая перегородка установлена на расстоянии $L_1=22,5$ см от впуска воды, вторая – на расстоянии $L_2=23,5$ см от первой перегородки или 46 см от начала макета, третья – на расстоянии $L_3=24$ см от второй или 70 см от впуска воды.

Внесенные изменения, в сравнение с традиционными отстойниками, обеспечивают формирование переменного по форме и несколько возрастающего сечения потока осветляемой воды. Они ориентированы на повышение коэффициента объемного использования отстойника, за счет исключения "застойных" зон, а также на ускоренное оседание частиц взвеси на наклонное дно. Это подтверждается последующими экспериментами на предложенном действующем макете в масштабе 1:20.

3.1.2. Вывод расчетных соотношений для определения основных параметров предлагаемого отстойника

1. *Определение объема предложенного отстойника.* Для расчета геометрического объема предлагаемого отстойника разобьем его на более простые геометрические фигуры (рис. 3.3).

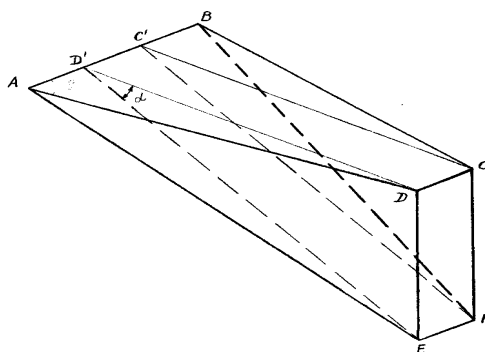


Рис. 3.3. Схема разбиения отстойника на простые геометрические фигуры

Объем прямой призмы, в основании которой лежат прямоугольные тре-

угольники $D'DE$ и $C'CK$, а ее высота $h=CD=C'D'=KE$ равен [163]:

$$W_{\text{приз}} = S_{\text{осн}} \cdot h,$$

где $S_{\text{осн}} = S_{D'DE} = \frac{1}{2} \cdot D'D \cdot DE$, м²; $h=CD$, м.

При заданной высоте отстойника (DE) и его угле α , можно определить длину отстойника $D'D=C'C = \frac{DE}{\text{tg}\alpha}$. Тогда

$$W_{\text{приз}} = \frac{1}{2} \cdot D'D \cdot DE \cdot CD = \frac{1}{2} \cdot \frac{DE}{\text{tg}\alpha} \cdot DE \cdot CD = \frac{1}{2} \cdot \frac{DE^2 \cdot CD}{\text{tg}\alpha}.$$

Объем пирамиды $AD'DE$ равен:

$$W_{\text{пир}} = \frac{1}{3} \cdot S_{\text{осн}} \cdot h.$$

При заданной длине отстойника ($D'D$) и угле β , можно определить величину

$$h = AD' = \frac{D'D}{\text{tg}\beta} = \frac{DE}{\text{tg}\alpha \cdot \text{tg}\beta}.$$

Тогда

$$W_{\text{пир}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot D'D \cdot DE \cdot \frac{DE}{\text{tg}\alpha \cdot \text{tg}\beta} = \frac{1}{6} \cdot \frac{DE}{\text{tg}\alpha} \cdot \frac{DE^2}{\text{tg}\alpha \cdot \text{tg}\beta} = \frac{1}{6} \cdot \frac{DE^3}{\text{tg}^2\alpha \cdot \text{tg}\beta}.$$

Так как геометрический объем треугольной пирамиды $AD'DE$ равен объему пирамиды $BC'CK$, то общий геометрический объем предлагаемого отстойника вычислим по формуле:

$$W_{\text{омс}} = W_{\text{приз}} + 2 \cdot W_{\text{пир}} = \frac{DE^2 \cdot CD}{2 \cdot \text{tg}\alpha} + \frac{DE^3}{3 \cdot \text{tg}^2\alpha \cdot \text{tg}\beta}.$$

Поскольку DE – конечная высота отстойника H_K , а CD – его конечная ширина B_K , формулу для расчета полного объема отстойника можно представить в виде:

$$W_{\text{омс}} = \frac{H_K^2 \cdot B_K}{2 \cdot \text{tg}\alpha} + \frac{H_K^3}{3 \cdot \text{tg}^2\alpha \cdot \text{tg}\beta}. \quad (3.1)$$

Полученная формула (3.1) будет использована нами для определения геометрического объема реального горизонтального отстойника.

2. *Определение геометрических параметров перегородок макета. Опреде-*

ление общей (h_i^o) и рабочей (h_i^p) высоты перегородок. Общую высоту i -той перегородки (h_i^o , см) макета определяем по формуле:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h_i^o}{L_i}, \quad (3.2)$$

где L_i – длина от начала макета до i -той перегородки, см; $\operatorname{tg} \alpha = 0,6$.

Поскольку высота борта макета составляет 6,0 см, рабочая высота i -той перегородки отстойника будет равна: $h_i^p = h_i^o - 6$, см.

Определение ширины перегородок. Ширину i -той перегородки (b_i , см) условно можно разделить на три отрезка (см. схему на рис. 3.3), тогда окончательная формула для расчета b_i принимает следующий вид:

$$b_i = 2 \cdot \left(\frac{L_i}{\operatorname{tg} \beta} \right) + B_K, \quad (3.3)$$

где L_i – длина от i -той перегородки до задней торцевой стенки макета, см; B_K – конечная ширина макета, см; $\operatorname{tg} \beta = 8$.

Определение рабочей площади перегородок. Рабочую площадь (S_i^p , см²) i -той перегородки определяем по формуле:

$$S_i^p = b_i \cdot h_i^p. \quad (3.4)$$

Результаты расчета размеров перегородок представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Геометрические параметры перегородок макета отстойника

Геометрические параметры	Перегородки			Задняя торцевая стенка макета
	1	2	3	
Ширина (b_i), см	44,4	38,5	32,5	25
Общая высота (h_i^o), см	13,5	27,5	42,0	60
Рабочая высота (h_i^p), см	7,5	21,5	36,0	54
Рабочая площадь (S_i^p), см ²	333	827,75	1170	1350

Судя по результатам расчета, от впуска очищаемой воды до выпуска осветленной жидкости, наблюдается последовательное увеличение рабочей площади

перегородок. Несмотря на сужение конструкции отстойника от входа к выходу, происходит расширение потока очищаемой жидкости (за счет увеличения глубины отстойника). Поэтому можно предположить, что режим течения воды по длине макета будет устойчивым и ламинарным.

3. *Определение гидравлических параметров перегородок с учетом фактического расхода очищаемой воды.* Расчет гидравлических параметров перегородок макета необходимо начать с определения коэффициента пропуска воды (k) через перегородки при заданном диаметре отверстий ($d=0,45$ см) и расстоянии между ними ($p=0,67$ см). Эти размеры выбраны с учетом геометрического масштаба макета 1:20 в предположении, что в реальном отстойнике диаметр отверстий составит 9 см (90 мм).

Поскольку отверстия удобно расположить по схеме шестиугольника (рис. 3.4), коэффициент пропуска воды k находим как отношение площади отверстий, вписанных в шестиугольник (f) к общей площади этого шестиугольника ($S_{шестиуг}$):

$$k = \frac{f}{S_{шестиуг}}. \quad (3.5)$$

Общая площадь шестиугольника составит:

$$S_{шестиуг} = P \cdot h,$$

где P – полупериметр шестиугольника, равный $P = \frac{1}{2} \cdot (p_1 + p_2 + \dots + p_6)$; h – апофема шестиугольника (см. рис. 3.4).

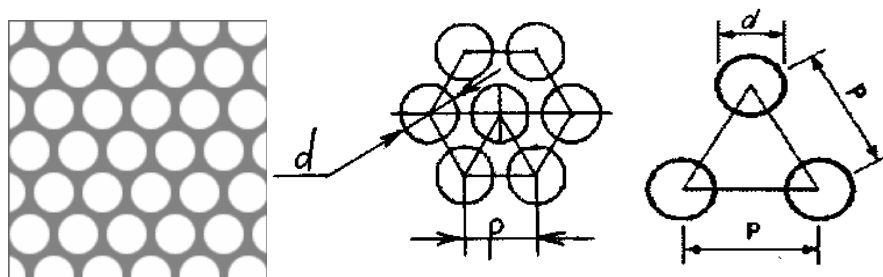


Рис. 3.4. Схема перфорации перегородки: d – диаметр отверстия, см; p – расстояние между центрами отверстий, см

В результате, площадь шестиугольника составит:

$$S_{\text{шестиуг}} = 2,01 \cdot 0,58 = 1,1658 \text{ см}^2.$$

Сечение одного отверстия перегородки при заданном диаметре ($d=0,45$ см) определяем как

$$S_{\text{отв}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,45)^2}{4} = 0,1589625 \text{ см}^2.$$

Поскольку площадь одного сегмента отверстия равна $S_{\text{сегм}} = \frac{1}{3} \cdot S_{\text{отв}}$, то общая площадь сегментов отверстий шестиугольника равна $\sum S_{\text{сегм}} = 6 \cdot S_{\text{сегм}} = 6 \cdot \frac{1}{3} \cdot S_{\text{отв}} = 2 \cdot S_{\text{отв}}$, а площадь отверстий (f), вписанных в шестиугольник:

$$f = S_{\text{отв}} + \sum S_{\text{сегм}} = 3 \cdot S_{\text{отв}} = 3 \cdot 0,1589625 = 0,4768875 \text{ см}^2.$$

Используя результаты этих простых вычислений, получим согласно (3.5) значение коэффициента пропуска воды через перфорированную перегородку:

$$k = \frac{0,4768875}{1,1658} = 0,409.$$

Далее определим суммарную площадь отверстий i -той перегородки (F_i , см²), через которые осветляемая вода движется в макете, при заданном диаметре ($d=0,45$ см) и коэффициенте $k=0,409$ по формуле:

$$F_i = S_i^p \cdot k. \quad (3.6)$$

Теперь перейдем к определению средней расчетной скорости (V_i^{cp} , см/с) потока, проходящего через сечения перегородок макета, по формуле:

$$V_i^{cp} = \frac{Q}{F_i} = \frac{Q}{S_i^p \cdot k}, \quad (3.7)$$

где Q – расход воды, см³/с, или количество жидкости, протекающей в единицу времени через поперечное сечение перегородок отстойника.

Величину Q для макета определим с учетом реального количества шахтной воды, откачиваемой на поверхность в процессе производственной деятельности типовой шахты (например, ш. «Степная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»), для которой эта величина составляет $Q_H=300$ м³/час (0,0834 м³/с) [66].

Согласно условию гидродинамического подобия по критерию Фруда, расход воды в макете определяем по формуле (2.19): $Q_m = \frac{Q_n}{(k_L)^{2,5}}$,

где k_L – линейный масштаб макета, равный 20.

Отсюда, $Q_m = \frac{0,0834}{(20)^{2,5}} = 0,000047 \text{ м}^3/\text{с}$ (47 см³/с).

Результаты расчета гидравлических параметров для каждой из трех перегородок макета представлены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Гидравлические параметры перегородок макета отстойника

Гидравлические параметры	Для перегородок №:		
	1	2	3
Суммарная площадь отверстий перегородок, F_i , см ²	136,197	338,55	478,53
Средняя расчетная скорость (V_i^{cp} , см/с) потока, проходящего через сечения перегородок	0,35	0,14	0,1

Обращаем внимание на то, что с некоторым увеличением суммарной площади рабочих отверстий в перегородках, скорость потока к выходу из макета постепенно снижается. Это благоприятствует сохранению устойчивого ламинарного режима течения, вплоть до слива воды из макета.

3.1.3. Исследование характера течения воды в макете и коэффициента использования объема его проточной части

Исследование проводилось с учетом того, что основным элементом гидравлической модели потока является элементарная струйка течения в нем.

Общее представление о перемещении отдельных частиц по сечению макета дает наблюдение за потоком, в котором подаваемая жидкость окрашена (для этого в воду добавлялся концентрированный раствор перманганата калия). Для наглядности на рис. 3.5 представлены четыре характерных этапа перемещения окрашенной воды после ее подачи в макет, предварительно заполненный чистой водой.

Вначале окрашенная вода поступает в струераспределительный лоток, откуда через отверстия в его дне попадает в рабочую зону макета. На участке от впуска воды в макет до первой перегородки наблюдаются отчетливо выраженные пульсации скорости, вследствие чего окрашенная жидкость активно перемешивается с водой, ранее находившейся в макете. Достигнув первой перегородки, вода начинает проходить через ее отверстия. Кинематическая энергия потока постепенно снижается, вследствие чего происходит выравнивание горизонтальной скорости течения по глубине.

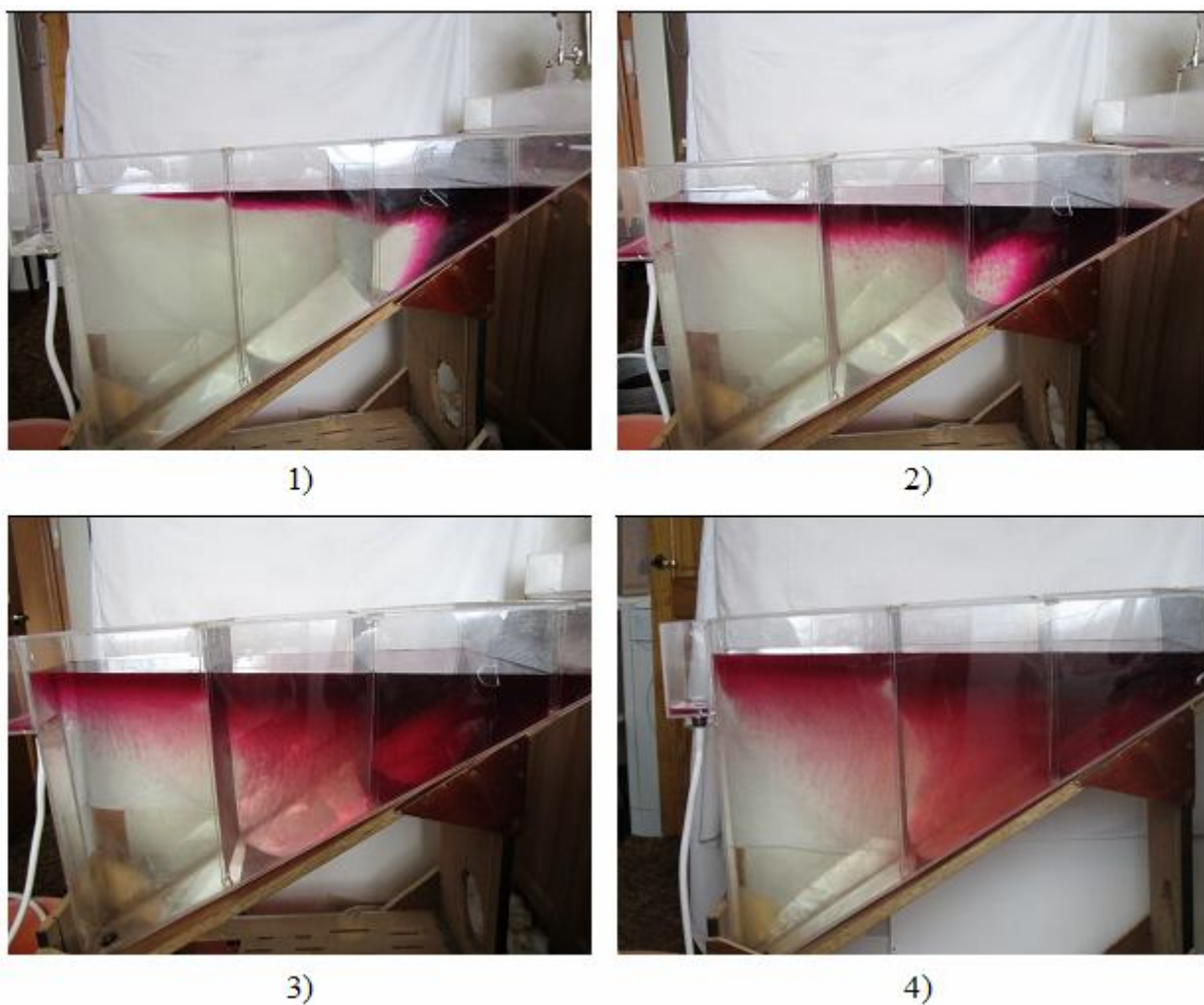


Рис. 3.5. Поэтапное перемещение окрашенной воды после ее подачи в макет

Линии тока воды в вертикальном сечении макета при установившемся режиме течения можно представить схематически, как показано на рис. 3.6.

Как и следовало ожидать, стрежень потока расположен ближе к поверхности. Там скорость течения воды максимальна. По мере углубления скорость тече-

ния вначале снижается (см. эпюру на рис. 3.6), но в области придонной линии тока, наблюдается некоторое повышение скорости течения, что обусловлено скольжением воды вместе с осадком по поверхности наклонного днища. У торцевой вертикальной стенки образуется «застойная» зона.

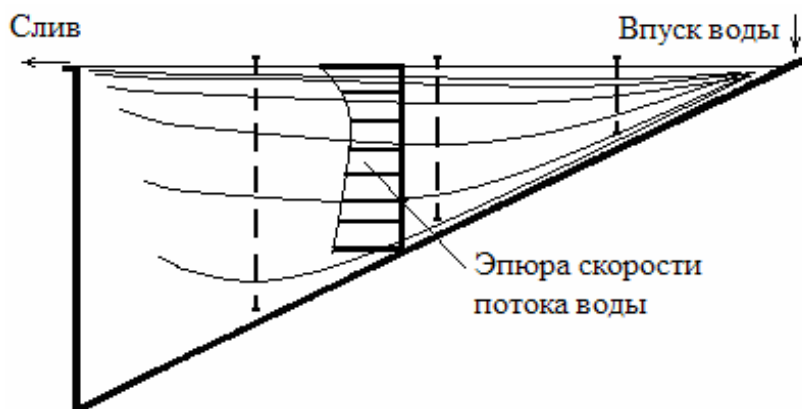
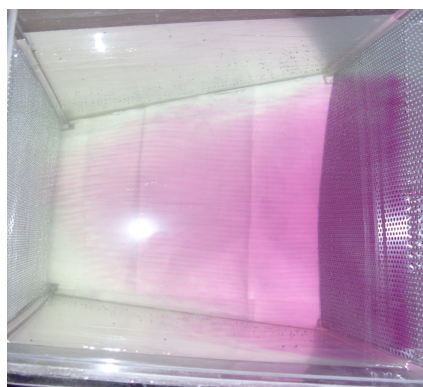
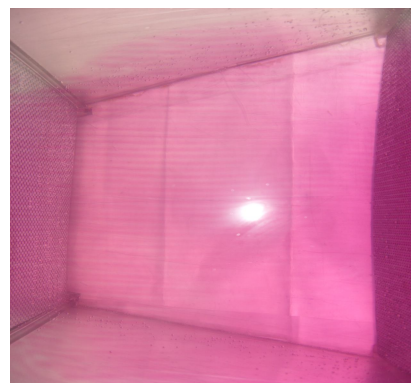


Рис. 3.6. Характерные линии тока воды и эпюра ее скорости в вертикальном сечении макета по оси потока в установившемся режиме

При исследованиях течения в макете с использованием красящей жидкости выявлено, что в установившемся режиме (в средней части макета) поперечные пульсации скорости практически отсутствовали и окрашенная жидкость движется по длине макета в виде отчетливо выраженных тонких струек. Это указывает на ламинарный режим течения. Причем скорость в слое, непосредственно соприкасающемся со стенками (пограничный слой), как и следовало ожидать, была близка к нулю, а максимальное значение наблюдалось по оси потока (рис. 3.7).



а)



б)

Рис. 3.7. Вид ламинарных струек течения, сформировавшихся при впуске (а) и в средней части макета (б)

Гидравлический режим работы отстойника в значительной степени влияет на эффективность отстаивания загрязненной воды. Чем совершеннее конструкция отстойника, тем выше эффективность задержания взвешенных веществ, которая связана с условиями впуска воды в отстойник, и наличием распределительных перегородок.

Коэффициент объемного использования проточной части отстойника (K_{set}), по величине которого судят о его гидравлической эффективности, в том числе и макета, определяем по формуле:

$$K_{set} = \frac{T_{\phi}}{T_m}, \quad (3.8)$$

где T_{ϕ} – фактическое время пребывания воды в отстойнике, определяемое экспериментальным путем, мин.; T_m – теоретическое время пребывания воды в отстойнике, мин.

Фактическое время (T_{ϕ}) пребывания воды в макете (от впуска окрашенной воды до выпуска) при задаваемой величине расхода воды ($Q=47 \text{ см}^3/\text{с}$), составило около 15 мин., а теоретическое время отстаивания воды для обычных прямоугольных горизонтальных отстойников должно определяться по формуле:

$$T_m = \frac{W_{акт}}{Q}, \quad (3.9)$$

где $W_{акт}$ – объем активной зоны отстойника, м^3 ; Q – расход сточной воды, поступающей в отстойник на очистку, $\text{м}^3/\text{с}$.

Но, поскольку предлагаемая конструкция разделена перфорированными перегородками, теоретическое время пребывания воды в секциях макета определим по предложенной нами зависимости:

$$T_m = \frac{L_i \cdot S_i^p \cdot k}{Q}, \quad (3.10)$$

где L_i – расстояние от впуска осветляемой жидкости в макете до i -той перегородки, см; S_i^p – рабочая площадь i -той перегородки макета, см^2 (табл. 3.1); k – коэффициент пропуска воды через сечения перегородок при заданном диаметре их отверстий (при $d=0,45 \text{ см}$ – $k=0,409$).

Результаты расчета по формуле (3.10), а также фактическое время прохождения окрашенной жидкости для разных задаваемых значений расстояния L_i по длине макета, с учетом указанного расхода воды, представлены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Динамика прохождения очищаемой воды в макете для $Q=47 \text{ см}^3/\text{с}$

Расстояние от впуска L_i , см	Площадь перегородок S_i^p , см^2	Время пребывания воды, мин.:	
		теоретическое, T_m	фактическое, T_ϕ
22,5	333	1,1	0,5
46	827,75	5,52	3,0
70	1170	11,88	9,5
100	1350	19,58	15,2

Как видим фактическое время пребывания воды в макете длиной $L=100 \text{ см}$ составит $T_\phi=15,2 \text{ мин.}$, а теоретическое (T_m) – $19,58 \text{ мин.}$ Тогда коэффициент использования объема его проточной части составит $K_{set} = \frac{15,2}{19,58} = 0,776$.

Это значение в $\approx 1,6$ раз больше, чем у существующих горизонтальных отстойников, для которых обычно $K_{set} \leq 0,5$.

Таким образом, показано, что поток жидкости, поступающей в рабочую зону макета, разделяется на четко выраженные струйки, не смешивающиеся между собой по сечению отстойника, что указывает на наличие ламинарного режима течения с характерной параболической эпюрой распределения скоростей в его поперечных сечениях. При этом коэффициент использования объема проточной части макета ожидается больше, чем у существующих горизонтальных отстойников.

3.1.4. Физическое моделирование процесса оседания взвешенных частиц на действующем макете

Физическое моделирование процесса оседания взвешенных веществ заклю-

чалось в определении в лабораторных условиях расчетных параметров отстойника, а именно: скорости оседания частиц взвеси и продолжительности пребывания осветляемой воды в отстойнике, обеспечивающей заданный эффект ее очистки.

Начальная концентрация взвешенных частиц (C_0), содержащихся в шахтной воде, составляла около 200 мг/дм^3 . Принимая во внимание тот факт, что оседание частиц в ламинарном потоке жидкости зависит только от свойств самой жидкости и гидравлического размера частиц, шахтную воду, содержащую взвешенные вещества, отстаивали не в макете, а в лабораторных мерных цилиндрах-седиментаторах, высота которых сопоставима с глубиной макета.

Более надежные результаты по определению времени оседания взвешенных частиц могут быть получены лишь в случае, когда высота h лабораторных цилиндров-седиментаторов, в которых производится отстаивание, равна или близка глубине отстойника H . Поскольку глубина макета является величиной переменной по его длине, выбираем 4 поперечных сечения в нем (три перегородки и задняя торцевая стенка), значения высоты (глубины) в которых использованы при проведении экспериментальных исследований седиментации частиц. С учетом этого, продолжительность оседания взвешенных веществ исследуем в цилиндрах-седиментаторах при следующей высоте воды в них: $h_1=7,5$ см (соответствует глубине первой перегородки); $h_2=21,5$ см (второй перегородки); $h_3=36,0$ см (третьей перегородки); $h_4=54,0$ см (соответствует высоте задней торцевой стенки макета).

Процесс исследования оседания частиц взвеси, содержащихся в шахтной воде, в цилиндрах-седиментаторах при различной высоте уровня воды, соответствующей глубинам перегородок макета, наглядно представлен на рис. 3.8.

Продолжительность отстаивания при проведении исследований по оседанию взвешенных веществ, содержащихся в воде, составляла 5 часов. В течение этого времени периодически определялась высота осадка в цилиндре (по уровню осветленной воды) и эффект осветления. Результаты экспериментов по определению количества частиц взвеси, выпадающих на дно цилиндра-седиментатора, в зависимости от продолжительности отстаивания представлены в табл. 3.4 и на рис. 3.9.

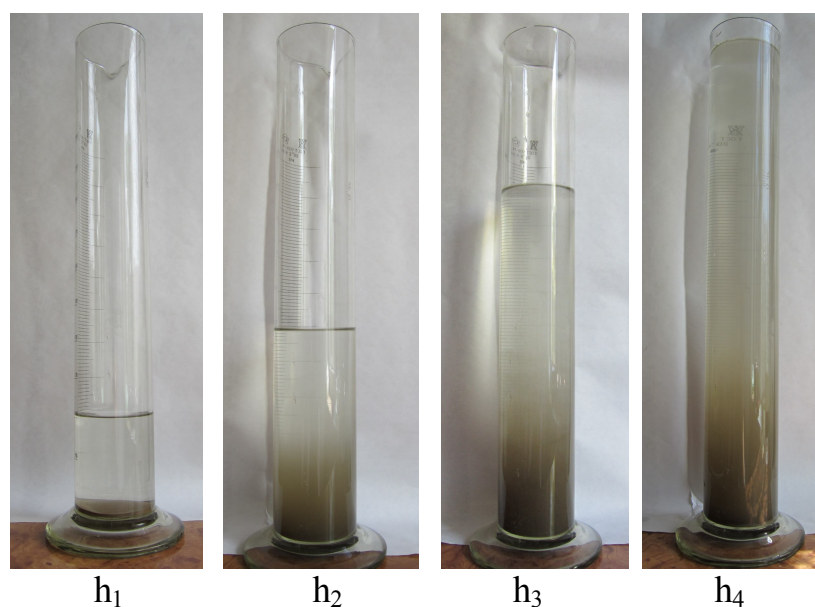


Рис. 3.8. Иллюстрация определения продолжительности оседания взвешенных частиц при разных уровнях воды в цилиндрах-седиментаторах при: $h_1=7,5$ см; $h_2=21,5$ см; $h_3=36$ см; $h_4=54$ см

Таблица 3.4

Зависимость эффекта осветления загрязненной воды от продолжительности отстаивания при различной высоте ее слоя

Эффект осветления воды (P), %	Продолжительность отстаивания t_i , с, при высоте слоя жидкости h_i , см:			
	7,5	21,5	36,0	54,0
10	60	120	200	300
24	120	360	600	900
38	240	720	1200	1800
50	480	1440	2400	3600
60	1020	2880	4800	7200
73	2400	7200	12000	18000
81	3600	10800	18000	-
85	5400	14400	-	-

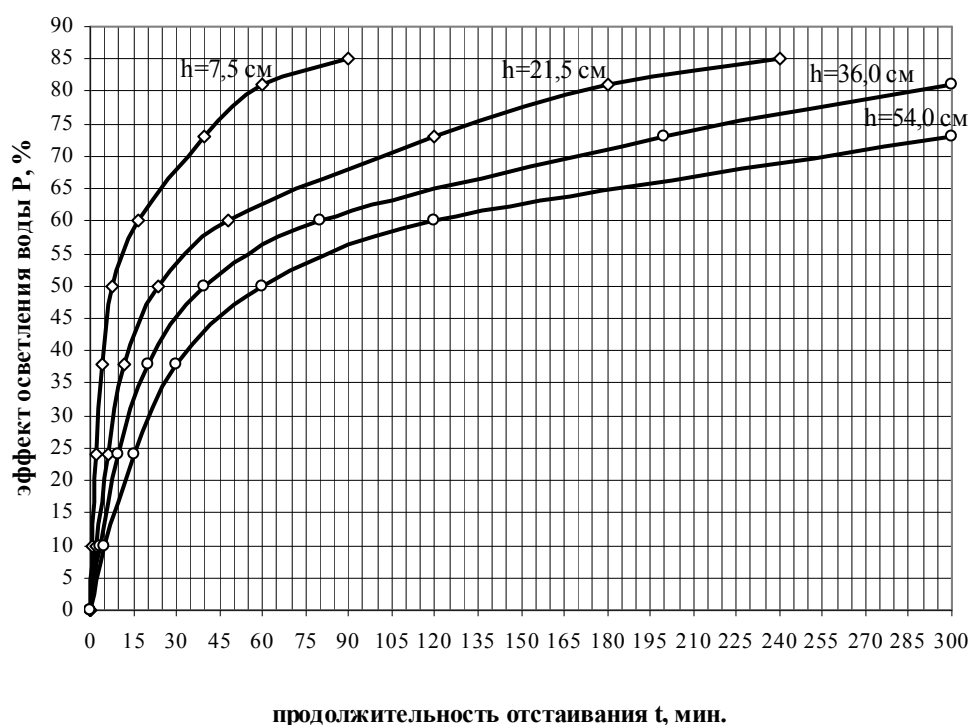


Рис. 3.9. Изменение эффекта осветления воды от продолжительности отстаивания при разной исходной высоте жидкости в цилиндре-седиментаторе

Как видим, изменение эффекта осветления воды, содержащей частицы, от продолжительности отстаивания при различной исходной высоте слоя воды (рис. 3.9) представлено семейством подобных кривых. Одинаковый эффект оседания взвешенных частиц достигается при различной продолжительности ее отстаивания.

Полученные графики на интервале времени от 5 минут и более для удобства последующих расчетов аппроксимировались логарифмическими зависимостями:

- $y = 16,498 \cdot \ln(x) + 12,875$, $R^2 = 0,995$ – при глубине $h_1 = 7,5$ см;
- $y = 15,886 \cdot \ln(x) - 1,9433$, $R^2 = 0,9978$ – при глубине $h_2 = 21,5$ см;
- $y = 15,901 \cdot \ln(x) - 10,095$, $R^2 = 0,9972$ – при глубине $h_3 = 36$ см;
- $y = 15,817 \cdot \ln(x) - 16,296$, $R^2 = 0,996$ – при глубине $h_4 = 54,0$ см.

С их помощью по формуле (2.3) определялись расчетные скорости оседания частиц взвеси, т.е. их гидравлические крупности, при которых обеспечивается заданный эффект осветления (см. табл. 3.5).

Таблица 3.5

Зависимость эффекта осветления воды, содержащей взвешенные вещества, от гидравлической крупности при разной высоте слоя жидкости

Эффект осветления воды (P), %	Гидравлическая крупность частиц взвеси, u_i , мм/с, при высоте слоя жидкости h_i , см:				Среднее значение u , мм/с
	7,5	21,5	36,0	54,0	
10	1,25	1,79	1,8	1,8	1,66
24	0,625	0,6	0,6	0,6	0,61
38	0,3125	0,3	0,3	0,3	0,3
50	0,156	0,15	0,15	0,15	0,152
60	0,074	0,075	0,075	0,075	0,075
73	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
81	0,021	0,02	0,02	-	0,02
85	0,014	0,015	-	-	0,015

Результаты физического моделирования оседания частиц взвеси показали, что наиболее крупные из них, с гидравлической крупностью 1,7 мм/с и выше, выпадают быстрее и оседают в первые 5-10 мин. В общем же, процесс осветления воды наиболее интенсивно протекает в течение первого часа (60 мин.), а затем замедляется.

Скорость оседания наиболее мелких частиц взвешенных веществ, включая коллоидные частицы, незначительна, поэтому они могут долгое время находиться в воде во взвешенном состоянии. Это объясняется не только малым размером частиц (менее 5 мкм), а также отсутствием их коагуляции, что привело бы к укрупнению частиц и более быстрому их оседанию.

Если графики на рис. 3.9 пересчитать в зависимости от величины средней гидравлической крупности частиц взвеси, то вместо семейства кривых получим одну обобщенную кривую, представленную на рис. 3.10.

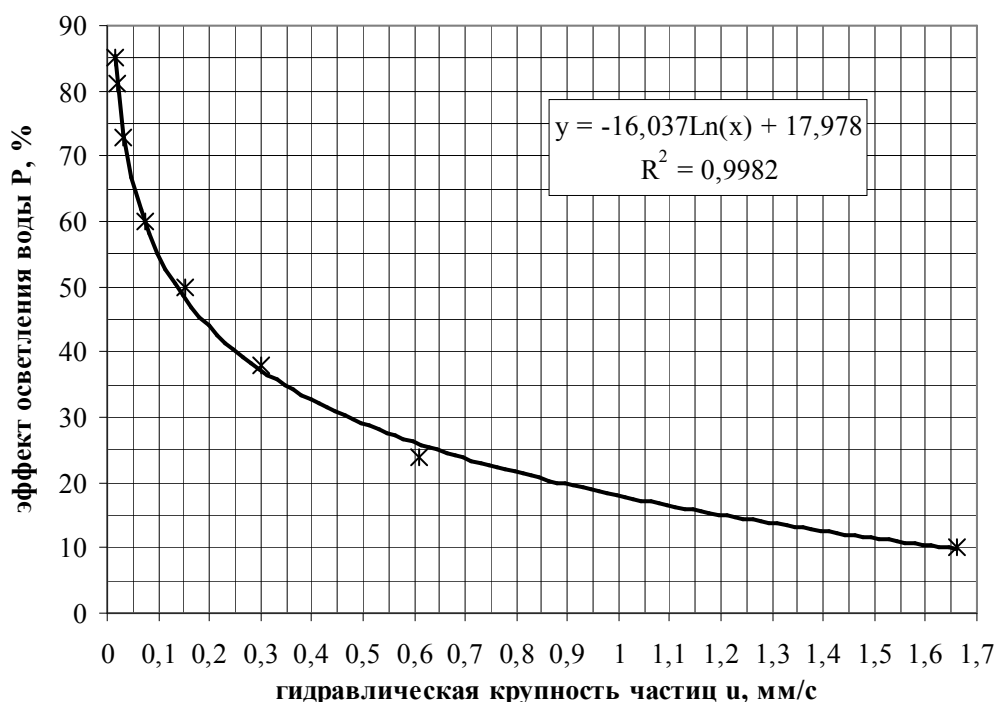


Рис. 3.10. Зависимость эффекта осветления воды, содержащей взвешенные вещества, от средней гидравлической крупности (скорости оседания) частиц

Анализ данных табл. 3.4-3.5 и рис. 3.9-3.10 показал, что в отстойнике успевают осесть только те взвешенные частицы, траектория движения которых достигает дна в пределах его рабочей длины. При малой глубине отстойника этот процесс происходит быстро и достигается достаточно высокий эффект оседания частиц взвеси за короткий промежуток времени. Так, при глубине первой перегородки $h_1=7,5$ см за 90 минут на дно оседает около 85 % всех частиц. Их гидравлическая крупность имеет нижний предел около 0,015 мм/с. Аналогичный эффект осветления при глубине оседания $h_2=21,5$ см (высота второй перегородки) уже будет достигнут при более продолжительном отстаивании. В частности, для оседания частиц взвеси с гидравлической крупностью $u=0,015$ мм/с, потребуется уже 240 минут. При глубине оседания $h_3=36,0$ см (высота третьей перегородки) и $h_4=54,0$ см (высота задней торцевой стенки макета) для достижения эффекта осветления 85% для частиц с минимальной гидравлической крупностью – 0,015 мм/с, потребуется более 5 часов.

Важным результатом проведенного физического моделирования процесса

оседания взвеси является построение кривых выпадения ее частиц в зависимости от продолжительности отстаивания при разной высоте уровня воды и средней скорости оседания частиц, т.е. их гидравлической крупности. На основании этих кривых можно определить процентное количество частиц взвеси определенной гидравлической крупности, выпадающих на дно, в течение заданного промежутка времени.

3.1.5. Исследование продолжительности выпадения частиц определенной крупности на дно макета по мере увеличения его глубины

Зная величины средней гидравлической крупности частиц взвеси, выпадающей на дно макета (табл. 3.5) и его увеличивающуюся глубину, можно вычислить продолжительность (t_g , с) выпадения этих частиц на дно как

$$t_g = \frac{h_i}{u}, \quad (3.11)$$

где u – средняя гидравлическая крупность (или скорость оседания) частиц, мм/с (табл. 3.5); h_i – глубина макета, которая увеличивается от незатопленного струераспределительного лотка до водосборного кармана (от 0 до 54 см), см.

При расчете продолжительности выпадения частиц взвеси на дно макета принимались значения глубин, начиная с $h_1=7,5$ см. При этом полагалось, что время перемещения частиц по длине макета (T_m , с) должно быть либо больше, либо равно времени гравитационного оседания частиц на дно (t_g , с), т.е. $T_m \geq t_g$ [11].

Установленная ранее фактическая продолжительность прохождения воды в макете, а значит и взвешенных частиц, составила $t_m=T_{\phi}=15,2$ мин. Для соблюдения седиментационного подобия продолжительность их отстаивания в макете должна быть увеличена. Ориентировочное время прохождения очищаемой воды по сечению предложенного отстойника в натуральных условиях при $Q_H=0,0834$ м³/с, согласно формулы (2.21), составит: $T_m = t_n = 1,73 \cdot (k_L)^{0,5} \cdot t_m = 1,73 \cdot (20)^{0,5} \cdot 15,2 = 118$ мин.,

где 1,73 – отношение коэффициента пропуска воды через перегородку в реальном отстойнике ($k=0,706$ при диаметре отверстий, определяемых с учетом гео-

метрического масштаба: $d_n = d_m \cdot k_L = 0,45 \cdot 20 = 9,0$ см) и в макете ($k=0,409$ при диаметре отверстий $d_m=0,45$ см).

Кроме того, при $T_m=118$ мин. снизится объем подаваемой в макет воды до $Q=7,8$ см³/с, вместо 47 см³/с – величины, которая выбиралась для обеспечения геометрического подобия.

Результаты расчетов продолжительности выпадения частиц взвеси определенной гидравлической крупности на дно макета по мере увеличения его глубины при заданном времени перемещения (T_m) этих частиц по сечению макета представлены в табл. 3.6 и на рис. 3.11.

Таблица 3.6

Продолжительность выпадения частиц по мере увеличения глубины макета

Глубина макета h_i , см	Продолжительность выпадения частиц взвеси t_{θ} , с, гидравлической крупностью u , мм/с:							
	1,66	0,61	0,3	0,152	0,075	0,03	0,02	0,015
7,5	45	123	250	493	1000	2500	3750	5000
21,5	130	352	717	1414	2867	7167	10750	14333
36	217	590	1200	2368	4800	12000	18000	24000
54	325	885	1800	3553	7200	18000	27000	36000

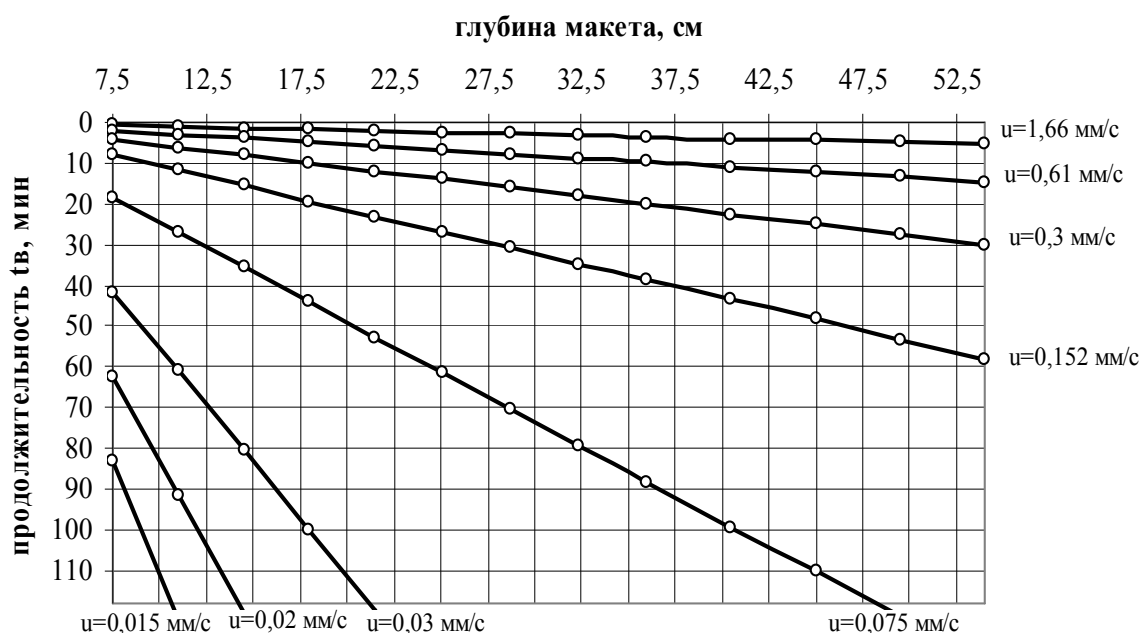


Рис. 3.11. Семейство кривых продолжительности выпадения частиц взвеси на дно макета определенной гидравлической крупности

Результаты физического моделирования процесса оседания взвешенных частиц (рис. 3.9-3.10), а также полученные аналитические зависимости, с учетом условия $T_m \geq t_e$ на рис. 3.11, позволили заключить, что в исследуемом макете при глубине оседания равной:

- 7,5 см, в осадок могли бы выпасть частицы взвеси гидравлической крупностью до 0,01 мм/с, причем эффективность очистки воды составила бы порядка 91,6%;

- 21,5 см, в осадок смогут выпасть частицы взвеси гидравлической крупностью до 0,031 мм/с, а эффект осветления составит около 73,8%;

- 36,0 см, в осадок смогут выпасть частицы взвеси гидравлической крупностью до 0,051 мм/с при эффекте осветления порядка 65,8%;

- 54,0 см, в осадок смогут выпасть частицы взвеси гидравлической крупностью до 0,077 мм/с при эффекте осветления до 59,2%.

Как видим, продолжительность выпадения частиц взвеси и эффективность очистки (осветления) воды на разной глубине различны для частиц одинаковой гидравлической крупности. При этом, с повышением глубины зоны оседания, время выпадения частиц взвеси увеличивается, а эффект очистки – снижается. В то же время, при заданной продолжительности отстаивания, с увеличением глубины зоны оседания, значения гидравлической крупности частиц, выпадающих на дно, возрастают, а эффект очистки при этом снижается. Следовательно, целесообразно выбирать глубину предлагаемого отстойника в месте впуска воды минимальной. Это позволит повысить эффективность очистки сточной воды за счет быстрого гравитационного оседания на мелкое дно наибольшего количества частиц взвеси.

3.1.6. Вывод зависимости для расчета расстояний, при которых частицы различной крупности выпадут на дно макета

В отстойнике частицы движутся с потоком воды в горизонтальном направлении со скоростью V^{cp} и одновременно оседают на дно под действием силы тя-

жести со скоростью u . Результирующая скорость частиц представляет ниспадающие траектории, отличающиеся для каждой частицы взвеси. Поэтому целесообразно не вычислять эти траектории, а ограничиться оценкой величины участка оседания частиц при разной глубине отстойника.

Напомним, что время перемещения взвешенных частиц по сечению отстойника (T_m) и продолжительность выпадения частиц взвеси на его дно (t_e) связаны условием $T_m \geq t_e$ [11]. При этом

$$T_m = \frac{L_i \cdot S_i^p \cdot k}{Q} \text{ и } t_e = \frac{h_i}{u},$$

где L_i – длина анализируемого участка макета, см; S_i^p – рабочая площадь i -той перегородки или выбранного сечения, см²; k – коэффициент пропуска воды через перегородки (при диаметре отверстий $d=0,45$ см, $k=0,409$); Q – расход жидкости, см³/с; h_i – возрастающая рабочая глубина макета в расчетном сечении, см; u – скорость оседания частиц взвеси (или их гидравлическая крупность), мм/с.

Участок (l), на котором частицы выпадут на дно, можно рассчитать как:

$$l = \frac{h_i \cdot Q}{S_i^p \cdot k \cdot u}. \quad (3.12)$$

В этом случае площадь S_i^p на расстоянии l от места впуска воды в макет определим как $S_i^p = (b_i - 2 \cdot l \cdot \text{ctg}\beta) \cdot h_i$, где b_i – ширина i -той перегородки, см (рис. 3.1); угол β – углы сужения макета (рис. 3.1, б), (в исследуемом макете принято $\text{ctg}\beta = 0,125$).

В результате подстановки в (3.12) указанных компонентов, получим

$$l = \frac{h_i \cdot Q}{(b_i - 2 \cdot l \cdot \text{ctg}\beta) \cdot h_i \cdot u \cdot k} = \frac{Q}{(b_i - 2 \cdot l \cdot \text{ctg}\beta) \cdot u \cdot k}. \quad (3.13)$$

Это выражение трансформируется в квадратное уравнение относительно l :

$$l^2 - \frac{b_i}{2 \cdot \text{ctg}\beta} \cdot l + \frac{Q}{2 \cdot u \cdot k \cdot \text{ctg}\beta} = 0 \quad (3.14)$$

с решением:

$$l = \frac{b_i}{4 \cdot \text{ctg}\beta} - \sqrt{\left(\frac{b_i}{4 \cdot \text{ctg}\beta}\right)^2 - \frac{Q}{2 \cdot k \cdot u \cdot \text{ctg}\beta}}. \quad (3.15)$$

Формула (3.15) позволяет рассчитать расстояния l при задаваемом эффекте очистки (изменением гидравлической крупности, согласно табл. 3.5), для указанных значений h_i при $k=0,409$. Результаты вычислений представлены в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Расстояния l от места впуска воды, при которых частицы различной крупности выпадут на дно макета при высоте слоя воды, h_i , и заданном эффекте ее осветления

Эффект осветления воды (P), %	Расстояния l , см, от места впуска воды в макет при соответствующей высоте перегородок h_i , см:			
	7,5	21,5	36,0	54,0
10	24,0	47,74	72,07	102,72
24	26,65	50,83	75,8	107,82
38	31,17	56,19	82,46	117,83
50	40,63	67,88	98,48	223,4
60	66,29	114,64	235,4	241,4
73	261,1	266,4	272,3	280,5
81	284	290	296,6	306
85	304,1	310,5	318	328,3

Примечание. Величина расхода воды составила $Q=7,8 \text{ см}^3/\text{с}$, с учетом принятой ранее продолжительности отстаивания $T_m=t_g=118 \text{ мин}$.

Как видим, наибольший эффект очистки – 85% для принятых значений высоты слоя воды будет достигнут при длине макета около 3,3 м. Поскольку длина изготовленного макета составляет $L=100 \text{ см}$, оценим эффект очистки воды на его выходе. Для этого результаты, приведенные в табл. 3.7, целесообразно представить в виде зависимостей глубины оседания частиц от расстояний, при которых они выпадут на дно макета при заданном эффекте очистки воды (рис. 3.12)

Пользуясь полученными зависимостями, определим глубину (h_{os} , см) оседания частиц определенной гидравлической крупности в области слива осветленной

воды из макета, т.е. на расстоянии $l=L=100$ см. Рассчитанные значения глубины представлены в табл. 3.8 и на рис. 3.13.

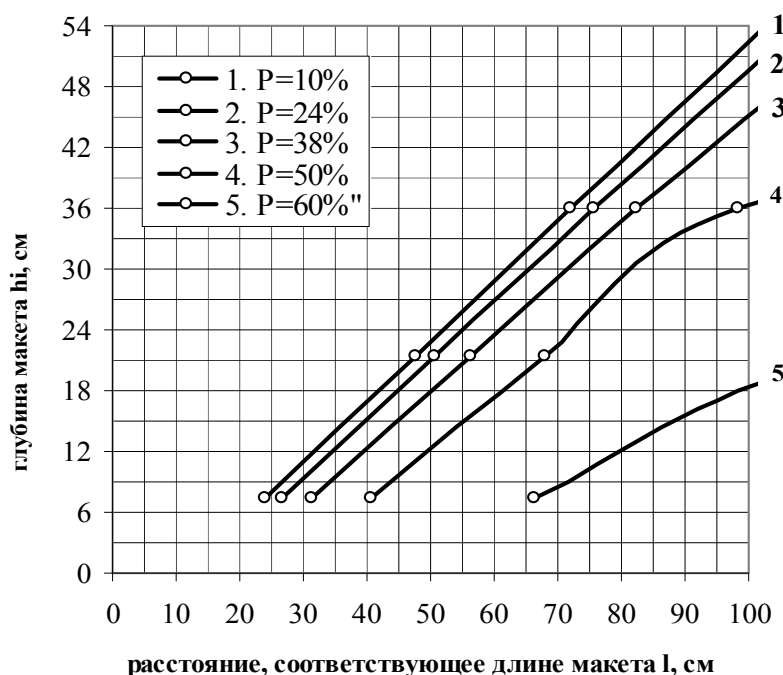


Рис. 3.12. Зависимости глубины оседания частиц определенной гидравлической крупности от расстояний по длине макета при заданном эффекте очистки

Таблица 3.8

Глубина оседания взвешенных частиц определенной гидравлической крупности при заданной величине эффекта очистки и длине макета $L=100$ см

Эффект осветления воды P , %	10	24	38	50	60
Глубина оседания частиц взвеси h_{os} , см	52,3	49,4	45	36,2	18,4

Эта зависимость позволяет прогнозировать глубину, на которой окажутся частицы взвешенных веществ определенной гидравлической крупности, при эффекте осветления (очистки) более 60%.

Согласно рис. 3.13, с учетом рис. 3.10, приходим к выводу, что в предложенном макете смогут осесть частицы с гидравлической крупностью $u=1,66-0,035$ мм/с.

Кроме того, выявляем, что в области слива осветленной воды из макета задаваемая эффективность ее очистки для частиц различной крупности достигается

на разной глубине. Так, эффективность очистки, составляющая $P=65\%$, может быть достигнута при оседании частиц с $u=0,053$ мм/с на глубину $h_{os}=12,04$ см от поверхности воды. При $P=70\%$ частицы с $u=0,039$ мм/с опустятся на глубину $h_{os}=3,05$ см. Наиболее мелкие частицы взвеси, гидравлическая крупность которых составляет $u=0,035$ мм/с, смогут опуститься на глубину, равную $h_{os}=1,14$ см, при этом эффективность очистки осветленной воды, сливаемой на выходе из макета, составит уже порядка $P=72\%$.

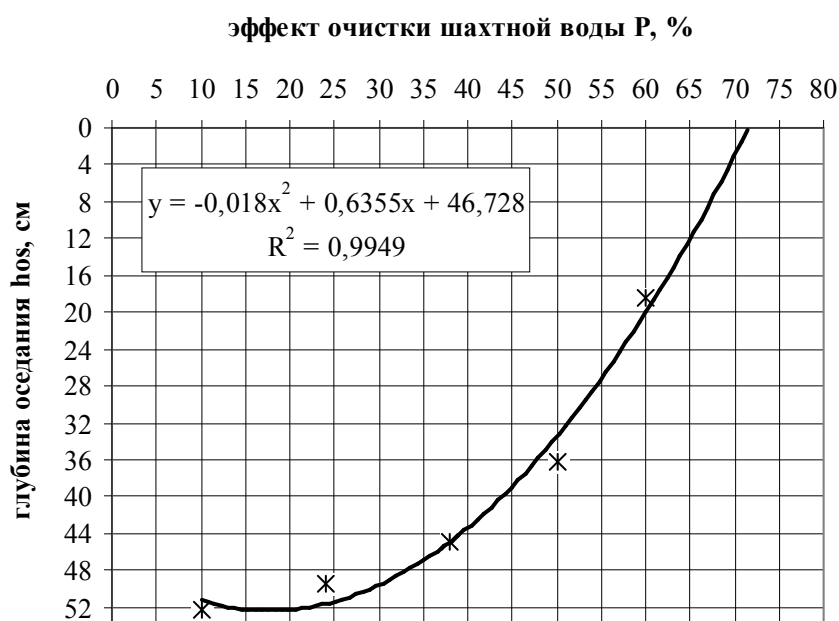


Рис. 3.13. Зависимость глубины оседания частиц от величины эффекта очистки воды и связанной с ним гидравлической крупности частиц, согласно рис. 3.10, при длине макета $L=100$ см

В заключение отметим, что при заданных геометрических и гидравлических параметрах макета, количество выпавших в осадок частиц взвеси будет составлять приблизительно 72%. Указанная величина существенно выше эффективности очистки в традиционных горизонтальных отстойниках, в которых эффект осветления воды достигает 30%, а значит, в осадок выпадают лишь довольно крупные частицы, гидравлическая крупность которых выше $u=0,47$ мм/с.

Полученные аналитические зависимости оседания частиц в цилиндрах-сепараторах и в макете являются основой расчетов степени очистки воды в

реальном отстойнике предложенной конструкции.

3.1.7. Расчет технологических показателей предлагаемого отстойника с учетом обработки шахтной воды коагулянтом

Осветление воды безреагентным методом отстаивания частиц взвеси, т.е. только под действием сил тяжести, применяется в тех случаях, когда она загрязнена грубодисперсными примесями, имеющими заметный гравитационный эффект. Однако, примеси, обуславливающие мутность и цветность шахтной воды, отличаются малыми размерами, вследствие чего их оседание происходит крайне медленно, так как силы диффузии превалируют над силами тяжести. Кроме того, наличие примесей коллоидного характера еще более осложняет процесс седиментации. Как упоминалось ранее, для ускорения процесса оседания взвешенных и тонкодисперсных частиц, а также для повышения эффективности осветления шахтной воды применяют коагулянты. Их применение позволяет значительно интенсифицировать процесс оседания тонкодисперсных и коллоидных частиц и повысить эффективность осветления (очистки) шахтной воды. Поэтому нами решалась задача повышения качества отстаивания шахтной воды в предложенном отстойнике от тонкодисперсных и коллоидных частиц при обработке осветляемой воды коагулянтом (сульфатом алюминия).

Результаты эксперимента по определению количества взвешенных частиц P (%), выпадающих на дно цилиндра-седиментатора (высотой $h=54$ см), в зависимости от изменения продолжительности отстаивания t (мин.) шахтной воды, обработанной сульфатом алюминия, представлены в табл. 3.9.

Таблица 3.9

Зависимость эффекта осветления шахтной воды, обработанной коагулянтом, от продолжительности отстаивания в цилиндре-седиментаторе

Эффект осветления воды P , %	24	40	50	60	66	70	73	74
Продолжительность отстаивания воды t , мин.	15	30	45	60	75	90	105	120

По установленным значениям t и соответствующему этому времени количеству – P частиц взвеси, выпадающих в осадок, строим кривую выпадения взвешенных веществ при обработке шахтной воды коагулянтном (рис. 3.14, а).

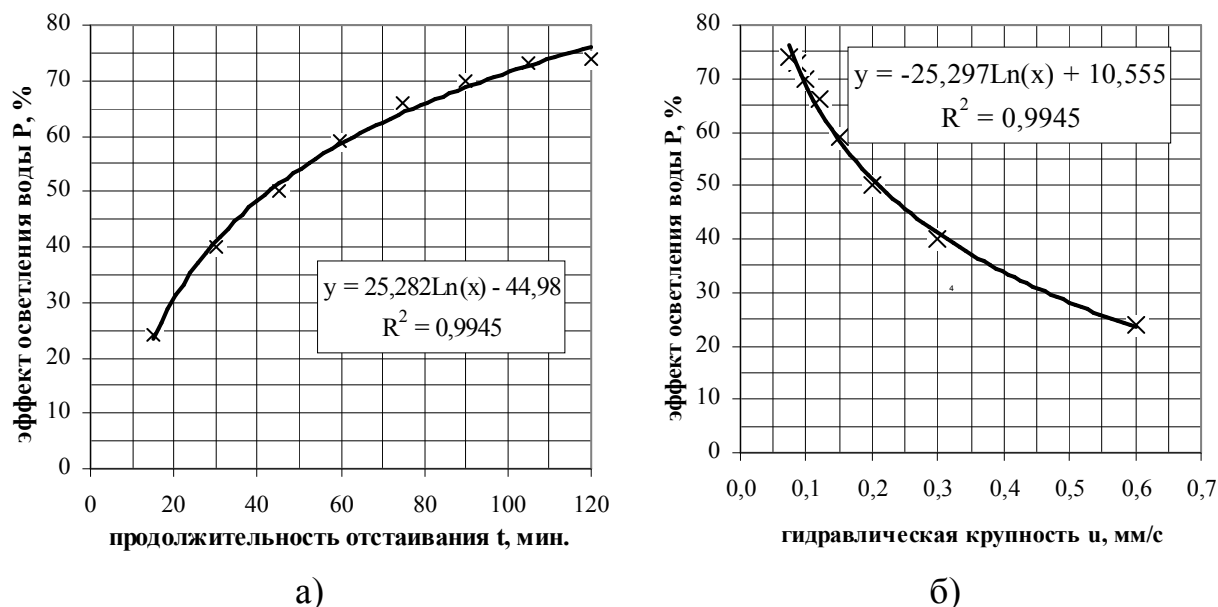


Рис. 3.14. Зависимости эффекта осветления воды, обработанной коагулянтном: а) – от продолжительности отстаивания в цилиндре-седиментаторе; б) – от средней гидравлической крупности (скорости оседания) частиц

Далее определяем расчетную скорость оседания частиц взвеси (u , мм/с), т.е. их гидравлическую крупность, при которой обеспечивается заданный эффект осветления воды, обработанной коагулянтном, по формуле (2.3). На рис. 3.14, б, представлена зависимость эффекта осветления шахтной воды P , обработанной сульфатом алюминия, от этого параметра u .

Для определения ожидаемой эффективности очистки (осветления) шахтной воды, обработанной коагулянтном, найдем расстояния, при которых частицы определенной гидравлической крупности выпадут на дно макета, по формуле (3.15). Результаты расчета расстояний l представлены в табл. 3.10.

По данным табл. 3.10, как и в предыдущем анализе, строились графики зависимостей глубины оседания частиц (различной гидравлической крупностью) от расстояний, при которых они выпадут на дно макета при задаваемом эффекте

очистки шахтной воды, обработанной коагулянтom (рис. 3.15, а). По ним, в свою очередь, определялась глубина – h_{os} , см, оседания частиц определенной гидравлической крупности в области слива осветленной жидкости, которая представлена в табл. 3.11 и на рис. 3.15, б.

Таблица 3.10

Расстояния l от места впуска воды, обработанной коагулянтom, при которых частицы разной крупности выпадут на дно макета при высоте слоя воды, h_i , и заданном эффекте ее осветления

Эффект осветления воды P , %	Расстояния l , см, от места впуска воды в макет при соответствующей высоте перегородок h_i , см:			
	7,5	21,5	36,0	54,0
24	26,72	50,91	75,9	107,96
40	31,17	56,19	82,46	117,83
50	35,88	61,91	89,97	132,6
59	40,9	68,23	99,01	223,7
66	46,31	75,39	111,27	228,5
70	52,22	83,83	227,8	233
73	58,62	94,38	231,6	237,2
74	66,29	114,64	235,4	241,4

Примечание. Величина расхода воды составила $Q=7,8$ см³/с, с учетом принятой ранее продолжительности отстаивания $T_m=t_g=118$ мин.

Таблица 3.11

Глубина оседания частиц взвеси определенной крупности при заданном эффекте очистки шахтной воды, обработанной коагулянтom, и длине макета $L=100$ см

Эффект осветления воды P , %	24	40	50	59	66	70	73	74
Глубина оседания частиц взвеси h_{os} , см	49,4	45	40,3	36,1	32,9	23,5	22,2	18,5

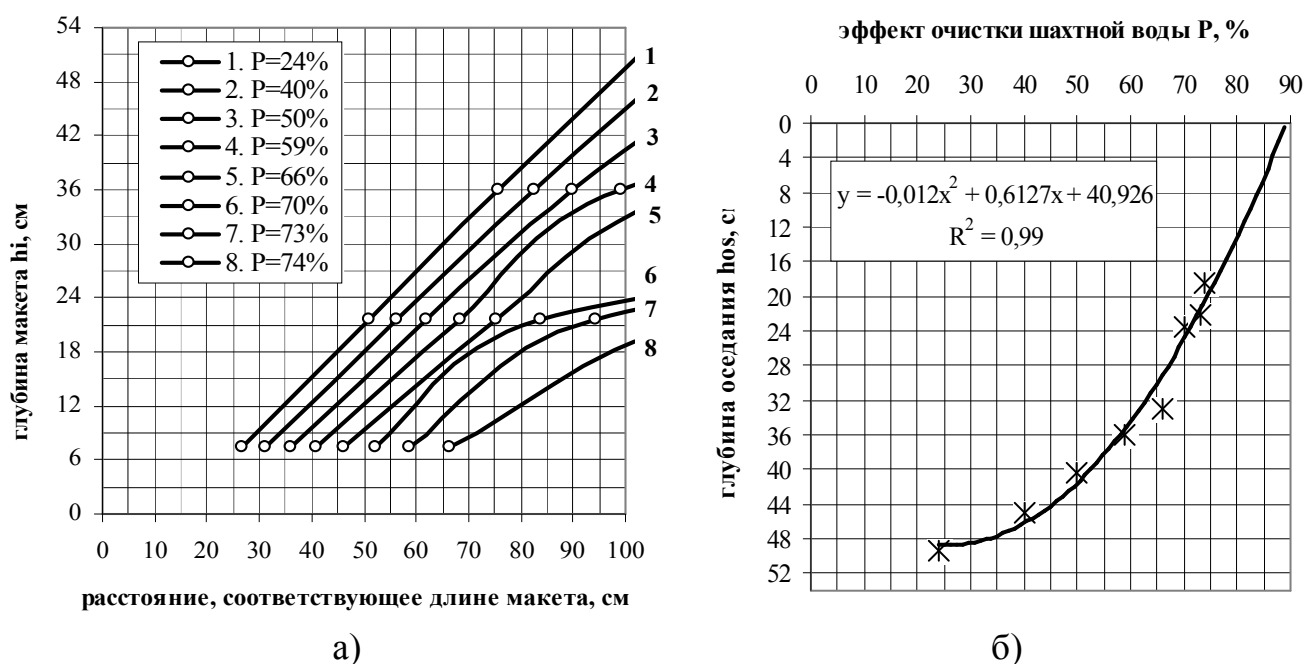


Рис. 3.15. Зависимости изменения глубины оседания частиц взвеси определенной гидравлической крупности: а) – от расстояний (l) при заданном эффекте очистки; б) – от величины эффекта очистки шахтной воды, обработанной коагулянтном, при заданной длине макета

Полученная на рис. 3.15, б, зависимость позволяет дать прогноз ожидаемого эффекта очистки шахтной воды, обработанной коагулянтном, величина которого, как видим, достигает порядка 89%.

Гидравлическая крупность частиц взвеси u , оседающих у задней торцевой стенки макета, определяется на основании зависимости, представленной на рис. 3.14, б, и составляет 0,045 мм/с. При этом ориентировочная глубина оседания хлопьев, сформировавшихся при обработке шахтной воды коагулянтном, составит $h_{os}=0,35$ см, что соответствует ожидаемому эффекту очистки $P=89\%$. Такая глубина оседания частиц на выходе реального отстойника позволяет уверенно сливать вышележащий осветленный слой воды в сливной карман без риска захвата осадка.

Таким образом, введение в осветляемую (очищаемую) воду раствора коагулянта (в нашем случае, сульфата алюминия) способствует частичному оседанию тонкодисперсных и коллоидных фракций, содержащихся в шахтной воде, и до-

полнительно увеличивает эффект очистки (теоретически до $P=89\%$).

3.2. Математическое моделирование процесса осветления шахтной воды в предложенном отстойнике

Поскольку построение предложенного отстойника в натуральную величину является высокочрезвычайно затратным, поэтому для получения количественных характеристик оседания взвешенных частиц в отстойнике реальных размеров нами была построена численная CFD-модель (Computational fluid dynamics) процесса массопереноса в предложенном отстойнике по реальным данным водоотлива угольной шахты. Решение уравнений математической модели реализовано с помощью разностных методов и предполагает построение математической модели течения воды в предложенном отстойнике и математической модели массопереноса взвешенных частиц (взвеси) в движущемся потоке отстойника.

3.2.1. Построение математической модели течения воды в отстойнике

Для оценки эффективности работы предложенного отстойника использовался гидродинамический подход. Рассмотрим вывод базового уравнения, на основе которого осуществлялся расчет поля скорости течения воды в отстойнике.

Введем декартовую систему координат. Выделим в потоке контрольный объем в виде параллелепипеда, со сторонами dx , dy , dz (рис. 3.16).

Будем считать, что на первой грани данного контрольного объема средняя скорость потока сточных вод равняется u . Пусть плотность жидкости на этой грани равна ρ . Тогда, в силу малости величины dx между первой и второй гранями, для второй грани, можем записать:

$$u + du = u + \frac{\partial u}{\partial x} \cdot dx,$$

$$\rho + d\rho = \rho + \frac{\partial \rho}{\partial x} \cdot dx.$$

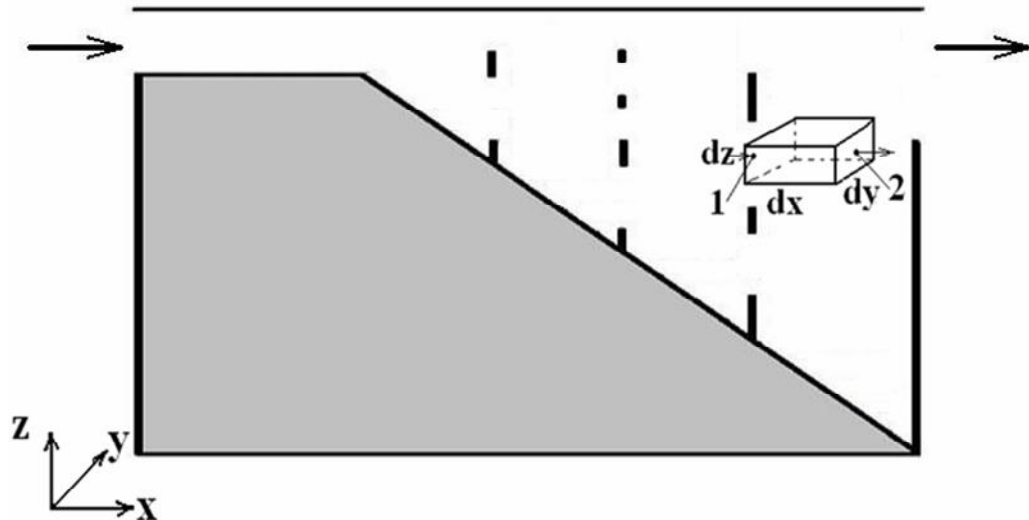


Рис. 3.16. Контрольный объем внутри отстойника: 1, 2 – грани контрольного объема

При движении потока внутри отстойника, через время dt , внутрь выделенного контрольного объема, через первую грань, втечет масса жидкости:

$$u \cdot \rho \cdot dy \cdot dz \cdot dt .$$

Из выделенного контрольного объема за время dt выйдет масса жидкости:

$$\left(u \cdot \rho + \frac{\partial u \cdot \rho}{\partial x} \cdot dx \right) \cdot dy \cdot dz \cdot dt .$$

На основе этих выражений можно записать изменение массы в объеме, за счет движения жидкости в направлении оси Ox :

$$\left(u \cdot \rho + \frac{\partial u \cdot \rho}{\partial x} \cdot dx \right) \cdot dy \cdot dz \cdot dt - u \cdot \rho \cdot dy \cdot dz \cdot dt = \frac{\partial u \cdot \rho}{\partial x} \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot dt .$$

Аналогично, изменение массы жидкости в объеме за счет движения потока в направлении других осей будет равно:

$$\frac{\partial v \cdot \rho}{\partial y} \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot dt ,$$

$$\frac{\partial w \cdot \rho}{\partial z} \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot dt ,$$

здесь v , w – компоненты вектора скорости жидкости в направлении коорди-

натных осей OY и OZ .

За время dt в контрольном объеме произойдет следующее накопление массы жидкости:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} \cdot dt \cdot dx \cdot dy \cdot dz .$$

Данное накопление массы связано с движением жидкости через грани выделенного объема, тогда можно записать следующее выражение:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} \cdot dt \cdot dx \cdot dy \cdot dz + \frac{\partial u \cdot \rho}{\partial x} \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot dt + \\ \frac{\partial v \cdot \rho}{\partial y} \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot dt + \frac{\partial w \cdot \rho}{\partial z} \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot dt = 0 . \end{aligned}$$

Выполняя сокращение, получаем:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial u \cdot \rho}{\partial x} + \frac{\partial v \cdot \rho}{\partial y} + \frac{\partial w \cdot \rho}{\partial z} = 0 .$$

Если принять, что течение является стационарным, то есть $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ и плотность – постоянна ($\rho = const$), получаем:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 . \quad (3.16)$$

Для расчета поля скорости в отстойнике, будем считать, что течение является потенциальным, тогда вектор скорости потока может быть записан в виде:

$$\vec{V} = gradP, \quad (3.17)$$

здесь P – потенциал скорости.

Это выражение, в покомпонентной форме можно записать так:

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial P}{\partial y}, \quad w = \frac{\partial P}{\partial z} . \quad (3.18)$$

Если подставить эти выражения в (3.17) получим следующее уравнение:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial z^2} = 0 . \quad (3.19)$$

Решение трехмерного уравнения (3.19) – является очень сложной задачей, поэтому для расчета поля скорости в предложенном горизонтальном отстойнике

будем использовать двухмерную модель (профильная задача). В этом случае моделирующее уравнение имеет вид [164, 165]:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0. \quad (3.20)$$

Это уравнение и использовалось для последующего расчета поля скорости потока в предложенном отстойнике.

Для интегрирования уравнения (3.20) необходимо поставить следующие краевые (граничные) условия [166-168]:

- на твердых поверхностях отстойника, верхней границе, ставится граничное условие вида $\frac{\partial P}{\partial n} = 0$, где n – единичный вектор внешней нормали к твердой стенке;

- на входной границе (впуск загрязненной воды в предложенный отстойник): $\frac{\partial P}{\partial n} = V_n$, где V_n – известное значение скорости входа;

- на выходной границе (слив осветленной воды из предложенного отстойника): $P = P_0 + const$.

Получить аналитическое решение уравнения (3.20) – для решения рассматриваемой задачи не представляется возможным, поэтому для его численного интегрирования использован метод конечных разностей. Численное решение уравнения (3.20) осуществлялось на прямоугольной разностной сетке. Потенциал скорости определяется в центрах разностных ячеек, а компоненты скорости u , v , w – на гранях ячеек.

Для решения уравнения (3.20) использован метод Либмана [169], с применением которого численным методом определялись компоненты вектора скорости потока на гранях контрольных объемов (разностных ячеек) в виде:

$$u_{i,j} = \frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{\Delta x},$$

$$v_{i,j} = \frac{P_{i,j} - P_{i,j-1}}{\Delta y}.$$

Процесс численного интегрирования уравнения для потенциала скорости

реализовывался в программе «*Scheme1*», а его результаты использованы для расчета распределения концентрации взвешенных частиц с использованием математической модели процесса массопереноса взвеси в предложенном отстойнике.

3.2.2. Построение математической модели массопереноса взвешенных частиц (взвеси) в отстойнике

В настоящее время за рубежом для расчета распределения концентрации взвешенных частиц в горизонтальном отстойнике широко используется многомерное уравнение конвективно-диффузионного переноса примеси (уравнение массопереноса) [170, 171]. Рассмотрим вывод этого базового уравнения.

Выделим в потоке, движущемся в отстойнике, контрольный объем в виде параллелепипеда со сторонами dx , dy , dz (см. рис. 3.16). Будем считать, что на первой грани объема скорость потока равна u , а массовая концентрация примеси равна C . Для второй грани выделенного объема можно записать такие зависимости:

$$u + du = u + \frac{\partial u}{\partial x} \cdot dx,$$

$$C + dC = C + \frac{\partial C}{\partial x} \cdot dx.$$

За время dt внутрь объема войдет масса загрязнителя, равная:

$$u \cdot C \cdot dy \cdot dz \cdot dt.$$

За это же время dt через вторую грань из рассматриваемого объема выйдет масса примеси:

$$\left(u \cdot C + \frac{\partial u \cdot C}{\partial x} \cdot dx \right) \cdot dy \cdot dz \cdot dt.$$

Кроме конвективного переноса загрязнителя осуществляется также и его диффузионный перенос. За счет процесса диффузии внутрь контрольного объема, через первую грань, зайдет масса загрязнителя равная:

$$q|_1 = -\mu \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \cdot dy \cdot dz \cdot dt,$$

а через вторую грань

$$q_2 = q|_1 + \frac{\partial q}{\partial x} \cdot dx = \left(-\mu \cdot \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(\mu \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \right) \cdot dx \right) \cdot dy \cdot dz \cdot dt ,$$

здесь μ – коэффициент диффузии.

С учетом движения примеси за счет конвекции и диффузии в направлении оси OX , можно записать выражение для изменения массы примеси в выделенном контрольном объеме:

$$\begin{aligned} & \left(u \cdot C + \frac{\partial u \cdot C}{\partial x} \cdot dx + q + \frac{\partial q}{\partial x} \right) \cdot dy \cdot dz \cdot dt - (u \cdot C + q) \cdot dy \cdot dz \cdot dt = \\ & \left(\frac{\partial u \cdot C}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(\mu \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \right) \right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot dt \end{aligned}$$

Изменение массы загрязнителя в выделенном объеме с учетом конвекции и диффузии в других координатных осях можно представить так:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial v \cdot C}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial y} \cdot \left(\mu \cdot \frac{\partial C}{\partial y} \right) \right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot dt , \\ & \left(\frac{\partial w \cdot C}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} \cdot \left(\mu \cdot \frac{\partial C}{\partial z} \right) \right) \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot dt , \end{aligned}$$

где v , w – компоненты вектора скорости потока сточных вод в направлении осей OY и OZ .

Накопление массы загрязнителя в выделенном объеме может быть представлено так:

$$\frac{\partial C}{\partial t} \cdot dt \cdot dx \cdot dy \cdot dz .$$

С учетом данного выражения и приведенных выше выражений для потока загрязнителя через грани объема, можно записать уравнение баланса массы загрязнителя в выделенном объеме:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial u \cdot C}{\partial x} + \frac{\partial v \cdot C}{\partial y} + \frac{\partial w \cdot C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(\mu \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \left(\mu \cdot \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \cdot \left(\mu \cdot \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (3.21)$$

С учетом различного значения коэффициентов диффузии по координатным направлениям, процесса гравитационного оседания примеси w_s и процесса биохимического

мического окисления загрязнителя, уравнение конвективно-диффузионного переноса примеси имеет вид [165, 170, 171]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial u \cdot C}{\partial x} + \frac{\partial v \cdot C}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s) \cdot C}{\partial z} + \sigma \cdot C = \\ = \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(\mu_x \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \cdot \left(\mu_y \cdot \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \cdot \left(\mu_z \cdot \frac{\partial C}{\partial z} \right), \end{aligned} \quad (3.22)$$

где σ – коэффициент, учитывающий скорость процессов биохимического окисления загрязнителя.

Следует отметить, что численное моделирование процесса массопереноса в отстойниках в трехмерной постановке является очень сложной задачей. Поэтому будем моделировать этот процесс на базе двухмерного аналога уравнения (3.22) – профильная задача. В этом случае моделирующее уравнение имеет вид:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial u \cdot C}{\partial x} + \frac{\partial (v - w) \cdot C}{\partial y} + \sigma \cdot C = \text{div}(\mu \cdot \text{grad}C), \quad (3.23)$$

где w – скорость гравитационного оседания загрязнителя в отстойнике.

Отметим, что ось Y направлена вертикально вверх.

Для интегрирования уравнения конвективно-диффузионного переноса примеси (3.23) в предложенном горизонтальном отстойнике необходимо поставить следующие краевые (граничные) условия:

- граничное условие на стенках, дне и верхней границе отстойника имеет вид [165]:

$$\frac{\partial C}{\partial n} = 0,$$

где n – единичный вектор внешней нормали к стенке.

- на участке, где поток выходит из расчетной области, в численной модели, ставится «циклическое» (мягкое) граничное условие, вида [172-174]:

$$C(i+1, j) = C(i, j),$$

где $C(i+1, j)$ – концентрация в последней (граничной) ячейке.

- на участке впуска загрязненной воды в предложенный отстойник ставится граничное условие [173]:

$$C|_{\text{граница}} = C_{en},$$

где C_{en} – известное значение концентрации примеси в потоке.

В начальный момент времени полагается: $C=0$ – в расчетной области.

3.2.3. Исследование эффективности очистки шахтной воды в отстойнике по реальным данным водоотлива угольной шахты

На основе построенной численной модели гидродинамики и массопереноса проведен вычислительный эксперимент по оценке эффективности очистки воды в предложенном отстойнике по реальным данным водоотлива шахты «Степная» (Западный Донбасс). Процесс численного интегрирования уравнения для потенциала скорости реализован в программах «Scheme1» и «Scheme2».

Расчет выполнен при таких параметрах: коэффициент диффузии – $\mu=0,7 \text{ м}^2/\text{ч}$ [165]; $w=0,02 \text{ мм/с}$; $\sigma=0$; скорость потока на входе загрязненной воды в отстойник – $v=0,025 \text{ м/с}$; глубина и длина отстойника (a , следовательно, и угол наклона днища α) варьировались в диапазоне 5,4-11,2 м и 9,5-20 м, соответственно. Концентрация загрязняющих веществ (взвешенных частиц) во входящем в отстойник потоке принята за 100 единиц (в безразмерном виде).

Для иллюстрации численного моделирования приведем результаты, характерные для отстойника с максимальной глубиной 5,4 м, которая считается наиболее приемлемой, исходя из практических соображений и опыта создания, эксплуатации и обслуживания существующих отстойников. Длина отстойника – варьировалась и составляла: 9,5 м (первый вариант), 11 м (второй вариант) и 13 м (третий вариант).

На рис. 3.17-3.19 представлены распределения концентрации загрязнителя внутри отстойника для рассматриваемых вариантов.

Значение концентрации на этих рисунках представлено в безразмерном виде: каждое число – это фактически величина концентрации в процентах от величины входной концентрации. Вывод на печать результатов расчета здесь осуществляется по формату печати «целых» чисел, т.е. дробная часть числа не выдается

исхождения, загрязненных механическими примесями полидисперсного состава, методом гравитационного отстаивания. Это очистное сооружение может быть использовано в разных отраслях промышленности, в том числе угольной, для очистки сточной воды от нерастворенных твердых веществ, преимущественно однородного химического состава с удельной плотностью, превышающей плотность воды.

Суть предложенной конструкции горизонтального отстойника [162] более детально поясняется чертежами, представленными на рис. 3.20, с дальнейшим описанием обозначенных позиций ниже по тексту.

Как уже отмечалось, главным отличием предложенной конструкции отстойника является то, что его корпус выполнен в виде желоба, сужающегося по направлению к сливному отверстию при одновременном увеличении глубины. Внутри желоба последовательно установлены поперечные вертикальные перфорированные перегородки с сечениями, соответствующими сечению корпуса отстойника. Эти перегородки с отверстиями разбивают поток осветляемой воды на множество отдельных струй и способствуют выравниванию скорости потока по сечению перегородок, что и обеспечивает интенсивное оседание частиц взвеси из потока, ламинарного по всем сечениям отстойника (или близкого к ламинарному). При этом частицы, не успевшие осесть в первой секции, поступают через отверстия в перегородках (преимущественно – нижние) в следующую секцию, где продолжают свое движение в направлении дна. Поскольку корпус установлен на опоре с наклоном днища под углом α к горизонтальной плоскости (рис. 3.20, а) в сторону сливного отверстия, обеспечивается сползание осадка, выпадающего в процессе осветления на дно в самую глубокую часть отстойника. Оттуда образовавшийся ил может периодически сливаться через отверстие в днище без остановки работы отстойника. При этом само днище корпуса представляет собой желоб, сечение которого имеет вид равнобедренного треугольника, основанием которого служит нижняя кромка прямоугольной перегородки. Таким образом, между днищем и перегородкой образуется зазор треугольной формы с углом наклона граней к горизонтальной плоскости γ (разрез Б-Б на рис. 3.20), что способствует беспре-

пятственному сползанию осевшего шлама преимущественно по оси днища.

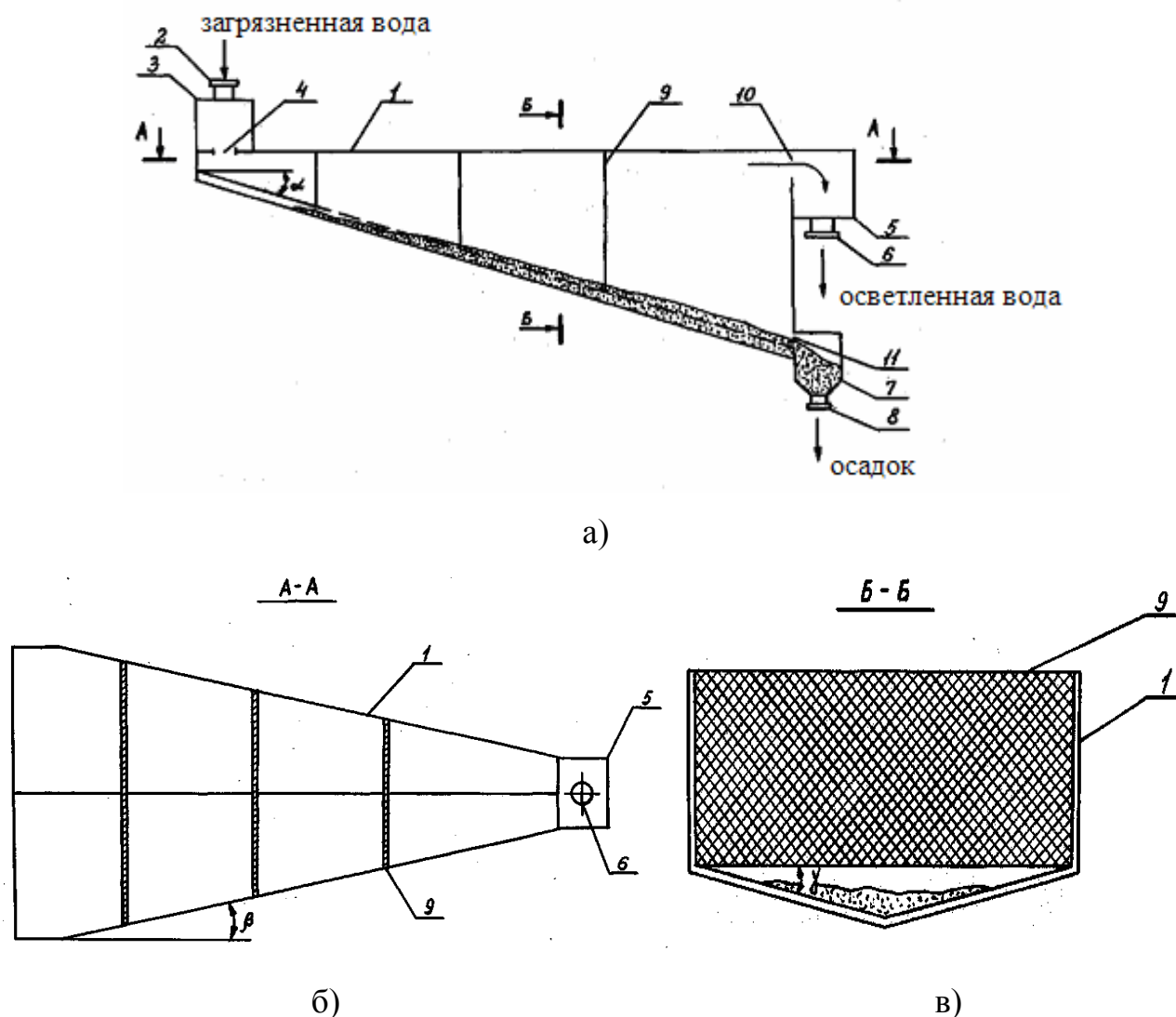


Рис. 3.20. Предложенная конструкция горизонтального отстойника: а) – вид сбоку; б) – сечение отстойника по А-А в плане; в) – профильное сечение отстойника по Б-Б: 1 – корпус разработанного отстойника шахтной воды; 2 - трубопровод для подачи загрязненной воды; 3 – струераспределительный лоток; 4 – перфорированные отверстия на дне лотка; 5 – водосборный лоток; 6 – трубопровод для отвода осветленной воды; 7 – приемный бункер для накопления и уплотнения осадка; 8 – трубопровод для отвода уплотненного осадка; 9 – поперечные вертикальные перфорированные перегородки; 10 – отверстие для слива осветленной воды; 11 – отверстие для отвода шлама; α – угол наклона днища отстойника к горизонтальной плоскости; β – углы сужения отстойника; γ – угол наклона граней днища отстойника к горизонтальной плоскости

Предложенная конструкция проточного горизонтального отстойника работает следующим образом:

Исходящий поток воды по трубопроводу (2) подают в струераспределительный лоток (3), имеющий прямоугольную форму. Через отверстия (4) на дне струераспределительного лотка поток равномерно распределяется по всей ширине неглубокой начальной части устройства, при этом скорость осветляемой воды снижается. Для равномерного распределения потока очищаемой воды, ликвидации «застойных» зон, увеличения коэффициента объемного использования отстойника и улучшения процесса осветления по всему переменному сечению корпуса (1) стационарно устанавливаются поперечные вертикальные перфорированные перегородки (9). Перфорация выполнена в виде отверстий, равномерно распределенных по всему сечению перегородок. При этом поток жидкости перемещается через систему упомянутых перегородок, поперечная площадь и прямоугольная форма которых соответствует сечению корпуса отстойника, к противоположному выпускному торцу отстойника. Площадь сечений каждой последующей перегородки в общем случае может быть одинаковой, но на практике ее желательно постепенно повышать, что обеспечивается подбором угла сужения желоба β , показанном на разрезе А-А (рис. 3.20). Постепенное увеличение площади перегородок обеспечит снижение скорости потока по мере его продвижения по желобу и повысит интенсивность оседания более мелких частиц.

Выпадающий осадок сползает по наклонному днищу в направлении движения воды, собирается в нижней части днища корпуса, поступает в приемный бункер для накопления и уплотнения осадка (7) и через отверстие (11) шлам отводится по трубопроводу (8) без остановки работы устройства. Верхний слой осветленной (очищенной) воды через сливное отверстие (10) поступает в водосборный лоток (5), расположенный на задней торцевой стенке отстойника, и отводится по трубопроводу (6).

Выполнение сливного отверстия (10) в виде щели и обустройство водосборного лотка (5) по всей ширине задней торцевой стенки отстойника позволяет получить стабильный уровень воды в нем, равномерное вытекание наиболее чистого

верхнего слоя осветленной воды, мало влияющее на гидравлический режим работы отстойника. Водосборный лоток имеет достаточную емкость, что важно для поддержания рабочего горизонта воды в отстойнике.

Поскольку наибольшее количество выпадающего осадка скапливается в передней части отстойного сооружения, уклон дна традиционных горизонтальных отстойников делают в сторону впуска воды. Исследования, представленные в работе [109], показали, что уменьшение глубины отстойника к выходу влечет за собой сокращение необходимого времени для выпадения взвеси.

В предлагаемой конструкции горизонтального отстойника, по мере прохождения сточной воды, глубина отстойного сооружения, начиная от впускного струераспределительного лотка, постепенно возрастает, достигая своего максимального значения у противоположной (задней) торцевой стенки, где продолжают оседать наиболее мелкие частицы, поскольку более крупные успели осесть на дно уже в неглубокой части (до первой перегородки) отстойника. При этом у заднего выпускного торца отстойника, где глубина желоба максимальна, даже мелкие частицы, продолжая оседать, окажутся на достаточно большей глубине относительно поверхностного слоя осветленной воды, который сливается, не возмущая процесс оседания, т.е. практически не происходит взаимодействие сливаемой осветленной воды с осадком. Кроме того, выполнение днища корпуса отстойника в форме равнобедренного треугольника обеспечивает свободное сползание осадка в образованном треугольном просвете между днищем и перегородкой к шламоприемному отверстию, мало влияя на «живое» сечение отстойного сооружения.

Для улучшения гидродинамических условий работы отстойника (увеличения коэффициента объемного использования и эффективности его работы) конструкции элементов впуска и выпуска сточной воды должны обеспечить ее равномерное распределение по ширине и глубине потока. Инерция массы воды, поступающей в отстойное сооружение со значительной скоростью, резко снижает эффект работы той части отстойника, которая находится вблизи впуска. Вследствие высоких скоростей движения воды, оседание взвешенных частиц здесь затруднено (за исключением крупных фракций с высокой плотностью вещества). Это тре-

бует оборудования системы рационального впуска. Причем незатопленные впускные конструкции обеспечивают лучшие гидравлические условия по времени осветления воды в отстойнике и скорости протекания, по сравнению с затопленными. Поэтому рекомендуется подача сточной воды в отстойник с использованием струераспределительного лотка. В нем кинематическая энергия входящих струек гасится довольно эффективно, вследствие чего, на входе в рабочую зону отстойника (в начальную секцию) осуществляется равномерное распределение воды по всему поперечному сечению.

Сбор осветленной воды на выходе из отстойника необходимо осуществлять таким образом, чтобы скорость подхода воды к переливной кромке выпускного щелевого отверстия была меньше, чем скорость подсосывания частиц осадка в осветленный верхний слой жидкости. В предложенном отстойнике сбор осветленной воды рекомендуется осуществлять в водосливной карман, расположенный на заднем торце отстойного сооружения, снаружи корпуса вблизи свободной поверхности потока жидкости (рис. 3.20). Такая конструкция водосливного устройства обеспечивает минимальное воздействие слива на траектории движения твердых частиц, продолжающих оседать в последней секции отстойника, даже в случае небольших размеров, что, в конечном итоге, позволяет выпускать из отстойника максимально осветленную воду. К тому же, вода, поступающая в отстойник и сливаемая из него, должна переливаться ровным слоем по всей длине сливных ребер карманов, для чего лотки, принимающие сточную воду и отводящие очищенную, устанавливаются строго горизонтально, а уровень сливного ребра должен быть несколько ниже уровня ребра кармана, обеспечивающего поступление воды в отстойник. Разница высот сливных карманов устанавливается с учетом производительности отстойника.

Улучшение условия процесса отстаивания взвеси, при наличии в потоке свободной поверхности, достигается путем создания стабильной гидродинамической структуры потока, т.е. за счет снижения интенсивности высокоинтенсивных придонных течений и ликвидации крупномасштабных завихрений в верхней части потока. Это достигается установкой трех промежуточных вертикальных перфори-

рованных перегородок по всему сечению отстойника, которые разделяют поток очищаемой жидкости на множество отдельных слоев (струй) малой высоты.

Указанные перегородки, устанавливаются в потоке равномерно по всей длине желоба предложенного отстойника. Они способствуют гашению энергии донных и поверхностных течений, выравниванию скоростей по всему сечению сооружения, а также ведут к увеличению коэффициента его объемного использования и повышению интенсивности оседания взвеси, находящейся в сточной воде. Их главная задача – не задержание примесей, а выравнивание горизонтальной скорости движения осветляемой воды по глубине с постепенным ее снижением по длине отстойника. Это существенным образом улучшает гидравлический режим работы устройства, а, следовательно, повышает эффективность очистки (осветления) сточной воды. Вследствие установки в отстойнике промежуточных перфорированных перегородок, его строительный объем используется достаточно полно, и потому фактическая продолжительность отстаивания сточной воды и скорость потока приближаются к расчетным значениям.

Таким образом, предложенная форма отстойника, вместе с перфорированными перегородками, незатопленным струераспределительным и водосливным лотками обеспечивают эффективное гашение турбулентных завихрений на входе отстойника, выравнивание потока жидкости в нем, придает ему однонаправленный ламинарный характер и слив верхнего слоя осветленной воды при минимальном ее взаимодействии с осадком. В конечном итоге, это обеспечивает более эффективное оседание механических примесей.

Выводы

1. Исследование характера течения воды на действующем макете усовершенствованного отстойника показало, что поток жидкости, поступающей в рабочую зону макета, разделяется на отчетливо выраженные струйки, несмешивающиеся между собой по сечению отстойника, что указывает на наличие безвихревого ламинарного режима течения воды в нем. При этом коэффициент использо-

вания объема проточной части отстойника, по величине которого судят о его гидравлической эффективности, достигает 0,776, что в $\approx 1,6$ раз превышает данный показатель для традиционных горизонтальных отстойников.

2. На величину эффективности очистки шахтной воды влияют продолжительность процесса отстаивания и средняя скорость оседания (гидравлическая крупность) взвешенных частиц. Эффективность очистки шахтной воды от механических примесей с увеличением продолжительности ее отстаивания в лабораторных цилиндрах-седиментаторах при разной высоте уровня воды в них и средней скорости оседания частиц взвеси изменяется по логарифмической зависимости.

3. Продолжительность выпадения в осадок частиц взвеси определенной гидравлической крупности, а, значит, и эффективность очистки шахтной воды зависят от глубины зоны оседания взвешенных частиц, и изменяется по линейному закону. С повышением глубины зоны оседания, время выпадения частиц взвеси увеличивается, а эффект очистки – снижается. В то же время, при заданной продолжительности отстаивания, с увеличением глубины зоны оседания, значения гидравлической крупности частиц, выпадающих в осадок, возрастают, а эффект очистки при этом снижается.

4. Глубина оседания частиц взвеси определенной гидравлической крупности зависит от расстояний, при которых они выпадут в осадок при заданной величине эффективности очистки шахтной воды, и изменяется по полиномиальной зависимости второго порядка. Получена эмпирическая формула, определяющая расстояния, при которых частицы взвешенных веществ определенной гидравлической крупности выпадут в осадок на дно отстойника с учетом его конструктивных и гидравлических параметров.

5. Глубина оседания частиц взвешенных веществ определенной гидравлической крупности зависит от величины эффективности очистки шахтной воды. С увеличением величины эффективности очистки шахтной воды от механических примесей, глубина оседания частиц взвеси уменьшается по полиномиальной зависимости второго порядка.

6. Для повышения уровня экологической безопасности сброса загрязненной шахтной воды в поверхностные водоемы разработана математическая модель процесса осветления шахтной воды в усовершенствованном отстойнике, позволяющая на основе вычислительного эксперимента прогнозировать величину эффективности очистки загрязненной воды от механических примесей при варьировании основных конструктивных параметров отстойника (максимальной глубины и длины).

7. Для снижения экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды разработан способ и техническое решение, предусматривающие использование отстойника усовершенствованной конструкции, что обеспечивает эффективное гашение турбулентных завихрений на входе воды в отстойник, придает потоку однонаправленный ламинарный характер, а также слив верхнего слоя осветленной воды при минимальном ее взаимодействии с осадком, повышая в конечном результате эффективность очистки сбрасываемой воды от механических примесей в 3 раза, по сравнению с традиционными технологиями очистки.

РАЗДЕЛ 4

ПРОГНОЗ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СБРОСА ШАХТНОЙ ВОДЫ В ВОДОЕМЫ ПОСЛЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДЛОЖЕННОГО СПОСОБА ЕЕ ОЧИСТКИ

4.1. Методика определения рациональных параметров процесса осветления шахтной воды после реализации предложенного способа ее очистки

Теоретические и экспериментальные исследования процесса отстаивания загрязненной шахтной воды, выполненные на действующем макете, и приведенные к натурным условиям, позволили разработать методику определения рациональных параметров процесса осветления загрязненной шахтной воды после реализации нового способа ее очистки в предложенном горизонтальном отстойнике в виде алгоритма, приведенного на рис. 4.1.

Методика определения, согласно основным блокам алгоритма, приведена ниже.

1. Значения конечной высоты отстойника H_K и начальной ширины корпуса B_0 в метрах выбираем по конструктивным соображениям с учетом объема, поступающей на очистку воды, производительности отстойника, степени сужения желоба в плане (определяется углом β) и территории, отводимой для размещения отстойника на шахте. Для размещения отстойника целесообразно выбрать место с наклонным рельефом, например склон балки.

Угол наклона днища корпуса к горизонтальной плоскости α принимается в зависимости от выбранной высоты H_K и допустимой длины L с учетом возможности свободного сползания илистого осадка по наклонному дну отстойника, имеющего профиль треугольного желоба, и составляет $25-30^\circ$ по априорным данным [175]. Угол сужения отстойного сооружения β принят в диапазоне $83^\circ-85^\circ$ [176] на основе исследований, проведенных на макете, с учетом обеспечения постепенного увеличения площади поперечного сечения отстойника, необходимого для снижения продольной скорости течения в нем.

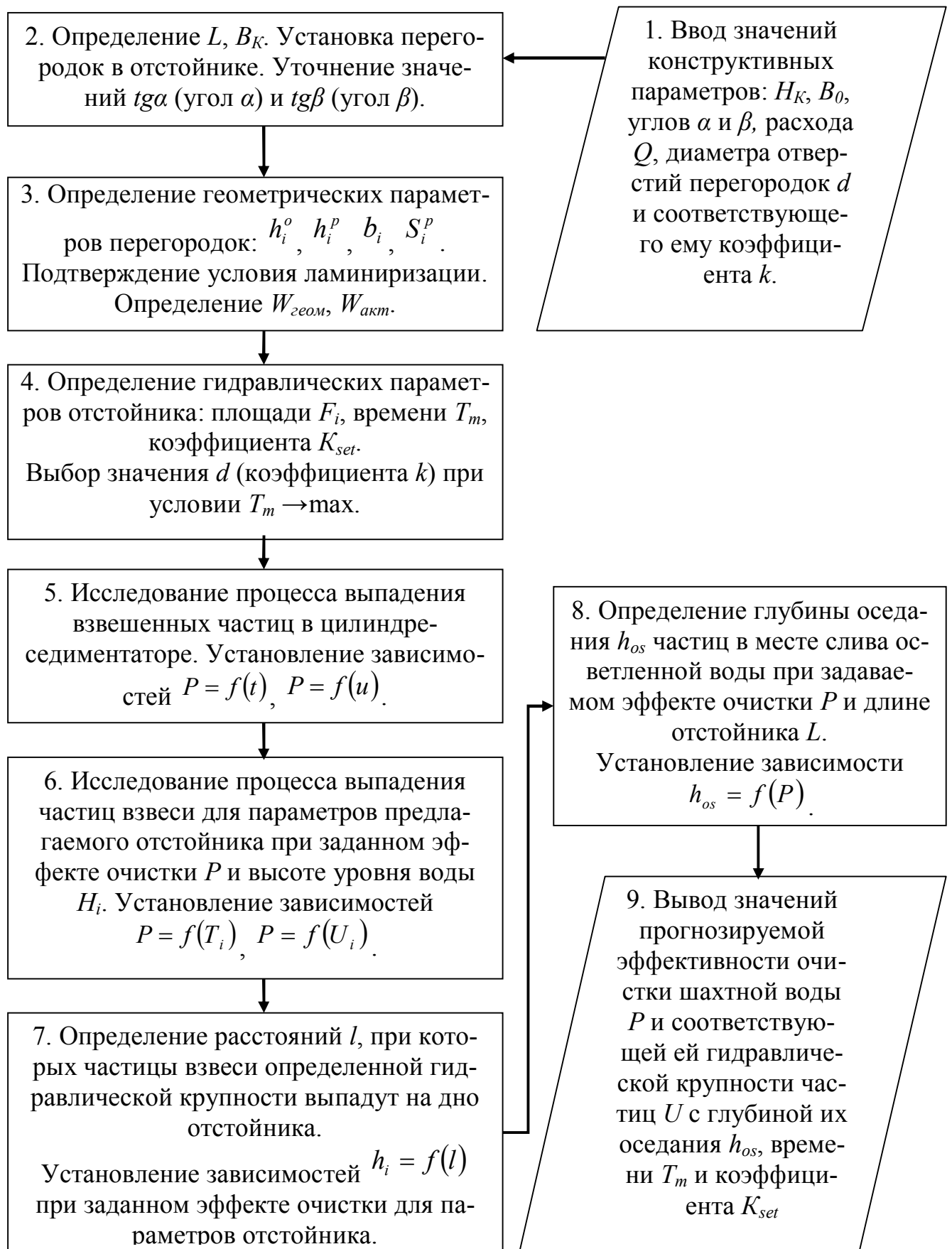


Рис. 4.1. Алгоритм определения рациональных параметров процесса осветления загрязненной шахтной воды по предложенному способу ее очистки

Величину расхода очищаемой воды (Q , м³/с) устанавливаем по данным, содержащимся в форме государственной статистической отчетности 2-ТП (водхоз), которая ежегодно заполняется на каждом предприятии.

В предложенном отстойнике рекомендовано устанавливать перфорированные металлические перегородки с отверстиями круглой формы, совокупность которых образует правильные шестиугольники. Диаметр отверстий – d в перегородках выбираем с учетом Q в пределах 2,5-10 см, и определяем соответствующий ему коэффициент пропуска воды (k) через сечение этих перегородок в расчете на 1 м² их рабочей площади с помощью полученной зависимости:

$$k = -0,0017 \cdot d^2 + 0,0311 \cdot d + 0,5621, \text{ при } R^2 = 0,9944 \quad (4.1)$$

2. По выбранному значению наибольшей глубины отстойника – H_K , определяем его длину – L из соотношения:

$$\operatorname{tg} \alpha = H_K / L, \quad (4.2)$$

откуда $L = H_K / \operatorname{tg} \alpha$.

Принимаем величину L , округлив ее до целого значения в метрах.

Размещаем перегородки в отстойнике на расстоянии L_i друг от друга. По результатам проведенного численного моделирования процесса осветления шахтной воды доказана целесообразность установки по длине отстойника трех перегородок, поскольку большее их количество не способствует повышению эффективности очистки воды, на равном расстоянии друг от друга.

По значению B_0 и β определяем конечную ширину B_K отстойника из соотношения:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{L}{\left(B_0 - B_K / 2 \right)}, \quad (4.3)$$

откуда $\left(B_K / 2 \right) = B_0 - \frac{L}{\operatorname{tg} \beta}$.

Принимаем величину B_K , округлив до целого значения в метрах.

Уточняем значения $\operatorname{tg} \alpha$ (угла α) и $\operatorname{tg} \beta$ (угла β) по формулам (4.2)-(4.3) с учетом откорректированных значений длины L и конечной ширины B_K отстойника.

3. Определяем геометрические параметры перегородок предлагаемого отстойника. Для этого уточняем расстояния между перегородками L_i (м), с учетом $tg\alpha$, а затем определяем общую высоту i -той перегородки (h_i^o , м) отстойника из соотношения:

$$tg\alpha = \frac{h_i^o}{L_i}, \quad (4.4)$$

откуда $h_i^o = L_i \cdot tg\alpha$,

где L_i – расстояние от начала отстойника до i -той перегородки, м.

Рабочую высоту i -той перегородки (h_i^p , м) отстойника рассчитываем без учета высоты борта отстойного сооружения, которая, согласно рекомендации [144], составляет 0,3 м, т.е. $h_i^p = h_i^o - 0,3$.

Уточнив значение $tg\beta$, определяем ширину i -той перегородки (b_i , м) отстойника по формуле:

$$b_i = 2 \cdot \left(\frac{L_i}{tg\beta} \right) + B_K, \quad (4.5)$$

где L_i – расстояние от i -той перегородки до задней торцевой стенки отстойника, м.

Рабочую площадь i -той перегородки (S_i^p , м²) отстойника определяем по формуле:

$$S_i^p = b_i \cdot h_i^p. \quad (4.6)$$

Увеличение рабочей площади каждой последующей перегородки предлагаемого отстойника, включая площадь S^p его задней торцевой стенки, способствует снижению скорости потока осветляемой воды и поддержанию его ламинарности.

Определяем общий геометрический объем (W_{geom} , м³) отстойника по формуле:

$$W_{geom} = \frac{H_K^2 \cdot B_K}{2 \cdot tg\alpha} + \frac{H_K^3}{3 \cdot tg^2\alpha \cdot tg\beta} \quad (4.7)$$

и объем его активной зоны ($W_{акт}$, м³) по этой же формуле (4.7), но без учета высоты борта отстойного сооружения, равного 0,3 м [144]:

$$W_{акт} = \frac{(H_K - 0,3)^2 \cdot B_K}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} + \frac{(H_K - 0,3)^3}{3 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}.$$

4. Определяем гидравлические параметры предлагаемого отстойника:

- суммарную площадь отверстий (F_i , м²) i -той перегородки при задаваемом размере их диаметра d вычисляем по формуле:

$$F_i = S_i^p \cdot k. \quad (4.8)$$

- время (T_m , мин.) перемещения частиц взвеси по длине отстойника при задаваемом диаметре d отверстий перегородок определяем по формуле:

$$T_m = \frac{L_i \cdot S_i^p \cdot k}{Q}, \quad (4.9)$$

где L_i – расстояние от места впуска сточной воды до i -той перегородки, м.

Для дальнейшего расчета принимаем тот диаметр d отверстий перегородок, при котором рассчитанное время T_m будет наибольшим ($T_m \rightarrow \max$).

- коэффициент использования объема проточной части отстойника (K_{set}), определяем по формуле:

$$K_{set} = \frac{T_\phi}{T_m}, \quad (4.10)$$

где T_ϕ – фактическое время пребывания воды в отстойнике, определяемое экспериментальным путем, мин.

5. Оцениваем процесс выпадения частиц взвешенных веществ в статических лабораторных условиях (по методике, приведенной в разделе 3). Для этого определяем продолжительность (t , сек.) пребывания осветляемой воды в цилиндре-седиментаторе и гидравлическую крупность (скорость оседания) частиц взвеси – u , мм/с, обеспечивающую заданный эффект осветления воды – P , %. Результаты экспериментов представляют в виде графических и аналитических зависимостей количества выпавших частиц взвеси от продолжительности отстаивания – $P = f(t)$ и скорости оседания взвешенных частиц $P = f(u)$ при установленной высоте лабораторного цилиндра-седиментатора. По этим зависимостям определяем процентное количество взвешенных частиц, выпадающих на дно, в течение любого необходимого промежутка времени и необходимой гидравлической крупности.

6. Оцениваем процесс выпадения частиц взвеси для параметров предлагаемого отстойника при заданном эффекте очистки – P и переменной высоте уровня воды, равной рабочей глубине каждой перегородки ($H_i = h_i^p$, м).

Для этого продолжительность отстаивания шахтной воды в предлагаемом отстойнике – T_i , мин., при достижении одинакового (постоянного) эффекта очистки (осветления) и переменной высоте уровня воды определяем по формуле:

$$T_i = t \cdot \left(\frac{H_i}{h} \right)^n, \quad (4.11)$$

где t и T_i – продолжительность отстаивания соответственно в цилиндричеседиментаторе и предлагаемом отстойнике высотой h и H_i при одинаковом эффекте оседания (проценте выпадения взвеси P); n – показатель степени, характеризующей способность частиц к агрегации при отстаивании в покое.

Расчетные скорости оседания U_i (мм/с) частиц взвеси (гидравлическая крупность) при заданном эффекте очистки (P) и переменной высоте уровня воды (H_i) в предлагаемом отстойнике определяем по формуле:

$$U_i = \frac{H_i}{T_i}. \quad (4.12)$$

Результаты расчетов представляют в виде графических и аналитических зависимостей количества выпавших частиц взвеси от продолжительности отстаивания – $P = f(T_i)$ и скорости оседания взвешенных частиц – $P = f(U_i)$ в предлагаемом отстойнике при различной высоте слоя воды, т.е. на разной глубине.

7. Определяем расстояния l (м), при которых частицы взвеси определенной гидравлической крупности выпадут на дно предлагаемого отстойника переменной глубины при задаваемом эффекте очистки по формуле:

$$l = \frac{b_i}{4 \cdot \text{ctg}\beta} - \sqrt{\left(\frac{b_i}{4 \cdot \text{ctg}\beta} \right)^2 - \frac{Q}{2 \cdot k \cdot U_i \cdot \text{ctg}\beta}}. \quad (4.13)$$

Полученные результаты представляем в виде графических и аналитических зависимостей изменения глубины оседания h_i (м) частиц взвеси определенной гидравлической крупности от расстояний (l), на которых они выпадут на дно – $h_i = f(l)$ при задаваемом эффекте очистки (P), с учетом параметров предлагаемого

отстойника.

8. По полученным выше зависимостям определяем глубину оседания (h_{os} , м) частиц взвеси определенной гидравлической крупности в месте слива осветленной жидкости у задней торцевой стенки предлагаемого отстойника при задаваемой величине эффекта очистки (осветления) P и длине L отстойника. Результаты представляем в виде графической и аналитической зависимости глубины оседания частиц определенной гидравлической крупности от величины эффекта очистки (осветления) воды – $h_{os} = f(P)$ при заданной длине L предлагаемого отстойника. Зависимость $h_{os} = f(P)$ позволяет определить прогнозируемую эффективность очистки сточной воды, содержащей взвешенные вещества, и соответствующую ей глубину оседания частиц взвеси определенной гидравлической крупности.

4.2. Эколого-экономическое обоснование эффективности внедрения разработанного технического решения

1. Экономическая оценка эффективности внедрения разработанного технического решения. Создание и внедрение новой техники сопряжено с существенными материальными и финансовыми затратами. Поэтому целесообразность освоения и разработки новой техники, а также ее использование в условиях конкретного производства требуют технико-экономического обоснования.

Экономическая целесообразность экологической деятельности предприятия определяется реальным экономическим эффектом от природоохранных мероприятий. Это предусматривает выбор наилучших технико-экономических вариантов природоохранных мероприятий, эффективности новых технических решений для предупреждения загрязнения окружающей среды.

Экономическая эффективность внедрения сооружений механической очистки шахтной воды определена в соответствии с методиками [177, 178]. Для этого сравним способы механической очистки шахтной воды в традиционном горизонтальном отстойнике (базовый вариант) и в усовершенствованной конструкции (предлагаемый).

Годовой экономический эффект рассчитывается путем сопоставления приведенных затрат по базовому и предлагаемому вариантам. Приведенные затраты (З, тыс. грн.) представляют собой сумму себестоимости нормативных отчислений от капитальных вложений в производственные фонды и определяются по формуле:

$$Z = C + E_n \cdot K, \quad (4.14)$$

где Z – приведенные затраты по каждому рассматриваемому варианту на единицу строительно-монтажных работ, тыс. грн.; C – годовые эксплуатационные расходы на обслуживание и содержание основных фондов средозащитного назначения по каждому рассматриваемому варианту, тыс. грн.; K – удельные капитальные вложения в производственные фонды на единицу строительно-монтажных работ по каждому рассматриваемому варианту, тыс. грн.; E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, принятый 0,15.

Капитальные вложения в строительство соответствующих объектов приняты согласно норм [179, 180], а сводный сметный расчет стоимости строительства по базовому и предлагаемому вариантам приведены в приложении Д (табл. Д.1-Д.3).

При определении эксплуатационных затрат величина амортизационных отчислений определяется по [181]. Расчет амортизационных отчислений на реновацию по базовому и предлагаемому вариантам приведен в табл. 4.1.

Отсюда, приведенные затраты по базовому варианту (строительство традиционного горизонтального отстойника) составляют:

$$Z_I = C_I + E_n \cdot K_I = 27,949 + 0,15 \cdot 956,881 = 171,481 \text{ тыс. грн. в год.}$$

По предлагаемому варианту (строительство разработанного горизонтально-го отстойника усовершенствованной конструкции):

$$Z_{II} = C_{II} + E_n \cdot K_{II} = 20,262 + 0,15 \cdot 612,694 = 112,166 \text{ тыс. грн. в год.}$$

Годовой экономический эффект (\mathcal{E} , тыс. грн.) рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E} = Z_I - Z_{II}. \quad (4.15)$$

Отсюда $\mathcal{E} = 171,481 - 112,166 = 59,315$ тыс. грн. в год.

Таблица 4.1

Расчет амортизационных отчислений от внедрения сооружений механической очистки загрязненной шахтной воды

Наименование показателей	Значение показателей по вариантам:	
	базовому	разработанному
1. Здания, сооружения, амортизируемые по потонной ставке		
Остаточная стоимость (K_1), тыс. грн.	804,451	498,619
Промышленные запасы угля по шахте ($З_y$), тыс. тонн	213610	
Добыча угля (D_y), тыс. тонн в год	1350	
Сумма амортизационных отчислений ($C_1 = \frac{K_1}{З_y} \cdot D_y$), тыс. грн.	5,084	3,151
2. Оборудование и монтажные работы		
Остаточная стоимость (K_2), тыс. грн.	152,43	114,075
Годовая норма амортизации (A_n), %	15	
Сумма амортизационных отчислений ($C_2 = \frac{K_2 \cdot A_n}{100}$), тыс. грн.	22,865	17,111
Итоговая сумма амортизационных отчислений ($C = C_1 + C_2$), тыс. грн.	27,949	20,262

Таким образом, ожидаемая экономическая эффективность от внедрения разработанного технического решения, по сравнению с традиционными отстойными сооружениями, составит 59,315 тыс. грн.

2. Расчет экологического налога за загрязнение водных объектов. Одним из наиболее важных эколого-экономических инструментов природоохранной деятельности является сбор за загрязнение окружающей природной среды и ухудше-

ние качества природных ресурсов, который взимается в форме экологического налога.

Сумма экологического налога (Π_i , тыс. грн./год), взимаемого за сброс загрязняющих веществ со сточными водами в водные объекты, исходя из фактических объемов сброса, ставок налога и корректирующих коэффициентов определяется согласно Налогового кодекса Украины [181] по формуле:

$$\Pi_i = M_i \cdot H_{ni} \cdot K_{oc}, \quad (4.16)$$

где M_i – фактическое количество i -того загрязняющего вещества, сбрасываемого в водный объект, тонны; H_{ni} – ставки налога в текущем году за 1 тонну i -того вида загрязняющего вещества, сбрасываемого в водный объект, грн./тонну; K_{oc} – корректирующий коэффициент, принимаемый 1,5 в случае сброса загрязняющих веществ в пруды и озера (в остальных случаях $K_{oc}=1$).

Ставки экологического налога за сброс в водные объекты загрязняющих веществ, на которые установлены величины предельно допустимых концентраций (ПДК) или ориентировочно безопасных уровней влияния (ОБУВ), представлены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Ставки налога за сброс загрязняющих веществ в водные объекты, на которые установлены величины ПДК (ОБУВ)

Диапазон значений ПДК (ОБУВ) загрязняющих веществ, мг/дм ³	Ставка налога, грн./тонну
до 0,001 (включительно)	98741,38
более 0,001 – 0,1 (включительно)	71592,29
более 0,1 – 1 (включительно)	12342,53
более 1 – 10 (включительно)	1256,11
более 10	251,46

Расчет величин экологического налога за сброс в водные объекты загрязняющих веществ с шахтной водой после ее отстаивания в традиционном горизонтальном отстойнике и в разработанной конструкции, представлен в приложении Д

(табл. Д.4).

Таким образом, экологический налог за загрязнение водных объектов в результате сброса загрязняющих веществ с шахтными водами:

- по базовому варианту (плата за загрязнение водных объектов после очистки загрязненной шахтной воды в традиционном горизонтальном отстойнике) составит $\Pi_I=2472,63$ тыс. грн. в год;

- по предлагаемому варианту (плата за загрязнение водных объектов после очистки загрязненной шахтной воды в разработанном горизонтальном отстойнике усовершенствованной конструкции) – $\Pi_{II}=2278,78$ тыс. грн. в год.

Экономия экологического налога ($\Delta\Pi$, тыс. грн.) рассчитывается по формуле:

$$\Delta\Pi = \Pi_I - \Pi_{II}. \quad (4.17)$$

Отсюда, экономия экологического налога от загрязнения водных объектов после очистки загрязненной шахтной воды в разработанном горизонтальном отстойнике усовершенствованной конструкции составит:

$$\Delta\Pi = 2472,63 - 2278,78 = 193,85 \text{ тыс. грн. в год.}$$

Показателем сравнительной экономической эффективности затрат на осуществление разработанного технического решения (внедрение горизонтального отстойника усовершенствованной конструкции) является годовой экономический эффект ($\Delta\varepsilon$, тыс. грн. в год) с учетом величины экономии экологического налога от загрязнения водных объектов после очистки загрязненной шахтной воды, который определяется по формуле:

$$\Delta\varepsilon = (Z_I - Z_{II}) + (\Pi_I - \Pi_{II}). \quad (4.18)$$

Отсюда, $\Delta\varepsilon = 59,315 + 193,85 = 253,165$ тыс. грн. в год.

4.3. Оценка снижения уровня экологической опасности сброса шахтной воды после реализации предложенного способа ее очистки

4.3.1. Оценка снижения уровня экологической опасности сброса шахтной воды дифференциальным методом после реализации предложенного способа ее очистки

Как известно, миграционно-активные формы тяжелых металлов включаются в той или иной степени в биологический круговорот, поэтому на любой стадии пребывания при определенных биогеохимических условиях и концентрациях могут оказывать токсическое действие на живые организмы. Поэтому нами решалась задача оценки количества ионов тяжелых металлов в шахтной воде и степени уменьшения их содержания после простого (безреагентного) отстаивания и после реагентной обработки воды с использованием коагулянта – сульфата алюминия в предложенном отстойнике.

Химический анализ исходной шахтной воды на содержание тяжелых металлов, а также после ее безреагентного отстаивания и обработки коагулянтом выполнялся в аккредитованной химико-аналитической лаборатории ООО «Металл» (свидетельство про аттестацию № ПЧ-005/2011).

Шахтная вода анализировалась на наличие следующих наиболее часто встречающихся тяжелых металлов: железо, марганец, медь, кадмий, кобальт, никель, свинец, хром и цинк (приложение Е, табл. Е.1-Е.3).

Полученные результаты выполненного химического анализа проб шахтной воды до и после ее простого и реагентного отстаивания показали отсутствие таких элементов, как кадмий и кобальт. Содержание остальных тяжелых металлов с приведенной эффективностью очистки шахтной воды представлено в табл. 4.3 и для наглядности на рис. 4.2.

Химический анализ проб шахтной воды до и после ее отстаивания показал, что содержание ионов тяжелых металлов, как в случае безреагентного отстаивания, так и после обработки осветляемой воды коагулянтом, снижается. Достаточ-

но высокой оказалась эффективность очистки шахтной воды от соединений меди, железа, цинка и низкой – от соединений свинца, никеля, хрома и марганца.

Таблица 4.3

Содержание тяжелых металлов в шахтной воде до и после отстаивания с эффективностью ее очистки от выявленных загрязняющих веществ

Наименование показателя	Исходная шахтная вода (значения, мг/дм ³)	Шахтная вода после отстаивания:			
		простого (безреагентного)		с коагулянтом (сульфатом алюминия)	
		содержание, мг/дм ³	эффективность очистки, %	содержание, мг/дм ³	эффективность очистки, %
1. Железо (Fe)	2,58	0,461	82	0,187	93
2. Марганец (Mn)	0,623	0,608	2,5	0,565	9,5
3. Медь (Cu)	0,007	0,001	86	0,001	86
4. Никель (Ni)	0,018	0,015	17	0,015	17
5. Свинец (Pb)	0,029	0,024	17,5	0,021	28
6. Хром общий (Cr)	0,024	0,0215	10,5	0,018	25
7. Цинк (Zn)	0,03	0,007	77	0,005	83,5

Выявлено, что осветление шахтной воды, обработанной коагулянтом, позволило в большей степени извлечь соединения марганца, хрома, свинца, железа и цинка, по сравнению с безреагентным отстаиванием.

Таким образом, осветление воды в предложенном горизонтальном отстойнике позволяет не только уменьшить количество содержащихся в ней коллоидно-дисперсных частиц, но и снизить концентрацию ионов тяжелых металлов в результате их адсорбции на поверхности взвешенных веществ различных гранулометрических фракций (преимущественно на глинистых частицах) и их оседанию на дно отстойника.

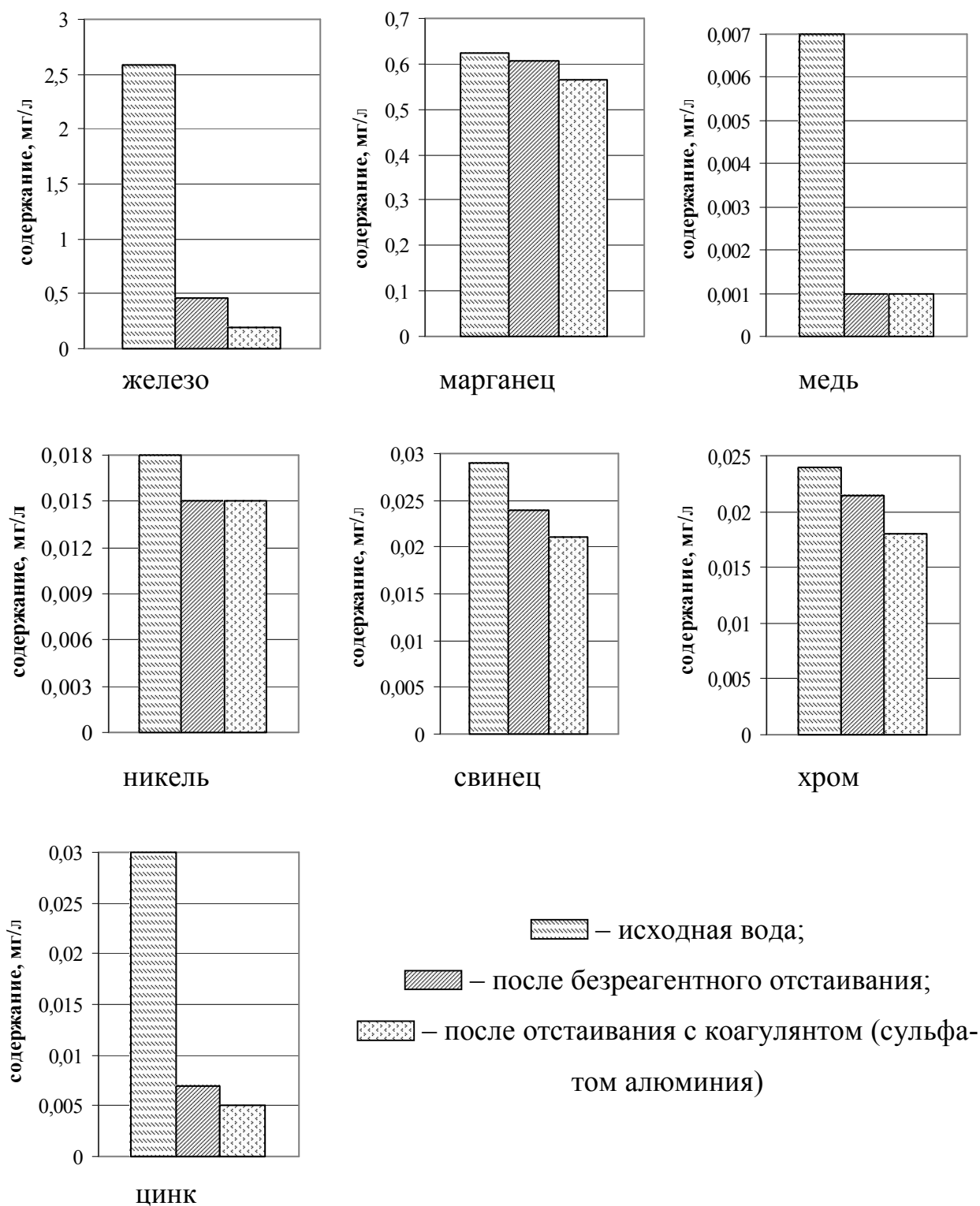


Рис. 4.2. Содержание тяжелых металлов в шахтной воде до и после реализации предложенного способа ее очистки

4.3.2. Оценка снижения уровня экологической опасности сброса шахтной воды комплексным методом после реализации предложенного способа ее очистки

Оценку уровня загрязнения шахтной воды до и после ее отстаивания (простого и реагентного) проведем согласно методикам комплексной оценки качества воды по гидрохимическим показателям ее состава, предложенным в подразделе 2.1.2.

Химический анализ проб шахтной воды до и после ее простого (безреагентного) отстаивания и обработки коагулянтом (сульфатом алюминия) представлен в приложении Е (табл. Е.1-Е.3).

Результаты оценки качества шахтной воды и уровня ее загрязнения токсичными элементами III и IV класса опасности по органолептическому лимитирующему признаку вредности (ЛПВ) представлены в табл. 4.4.

Результаты расчетов показателя индекса загрязнения воды (*ИЗВ*), а также оценка качества шахтной воды представлены в табл. 4.5.

Результаты расчетов величин обобщенной функции желательности (ОФЖ), а также уровень загрязнения шахтной воды представлены в табл. 4.6. При этом промежуточные расчеты величин ОФЖ представлены в приложении Ж (табл. Ж.1).

Таблица 4.4

Результаты оценки уровня загрязнения и качества шахтной воды до и после ее отстаивания по органолептическому лимитирующему признаку вредности (ЛПВ)

Пробы шахтной воды	Значение коэффициента K_p	Степень опасности загрязнения воды	Уровень опасности загрязнения воды
исходная	25,16	опасная	высокий
после простого отстаивания	11,71	опасная	высокий
после реагентного отстаивания	10,73	умеренно опасная	средний

Таблица 4.5

Результаты оценки качества шахтной воды до и после ее отстаивания по интегральному показателю гидрохимического индекса загрязнения воды (*ИЗВ*)

Пробы шахтной воды	Значения <i>ИЗВ</i>	Качество воды	Класс опасности загрязнения воды
исходная	3,72	загрязненная	IV
после простого отстаивания	1,68	умеренно загрязненная	III
после реагентного отстаивания	1,63	умеренно загрязненная	III

Таблица 4.6

Результаты оценки качества шахтной воды до и после ее отстаивания по величине обобщенной функции желательности (*ОФЖ*)

Пробы шахтной воды	Величина <i>ОФЖ</i>	Качество шахтной воды	Класс опасности загрязнения воды
исходная	0,259	грязная	IV
после простого отстаивания	0,576	загрязненная	III
после реагентного отстаивания	0,588	загрязненная	III

На основании данных о значениях гидрохимических показателей, по которым величины кратности превышения ПДК (норматива) являются наибольшими, а именно наличие взвешенных веществ, хлоридов, сульфатов, марганца, железа, свинца, построены графические модели качества шахтной воды до очистки и после ее простого и реагентного отстаивания (рис. 4.3).

Площадь экологического оптимума (круга) определяем по формуле $F_{opt} = \pi \cdot r^2$, где $r=1$ см принимаем из условия, что отношение фактических кон-

центраций загрязняющих веществ в воде к величине их ПДК (нормативам) не должны превышать единицы ($C_i/PДК_i \leq 1$).

Отсюда $F_{omt} = 3,14 \text{ см}^2$.

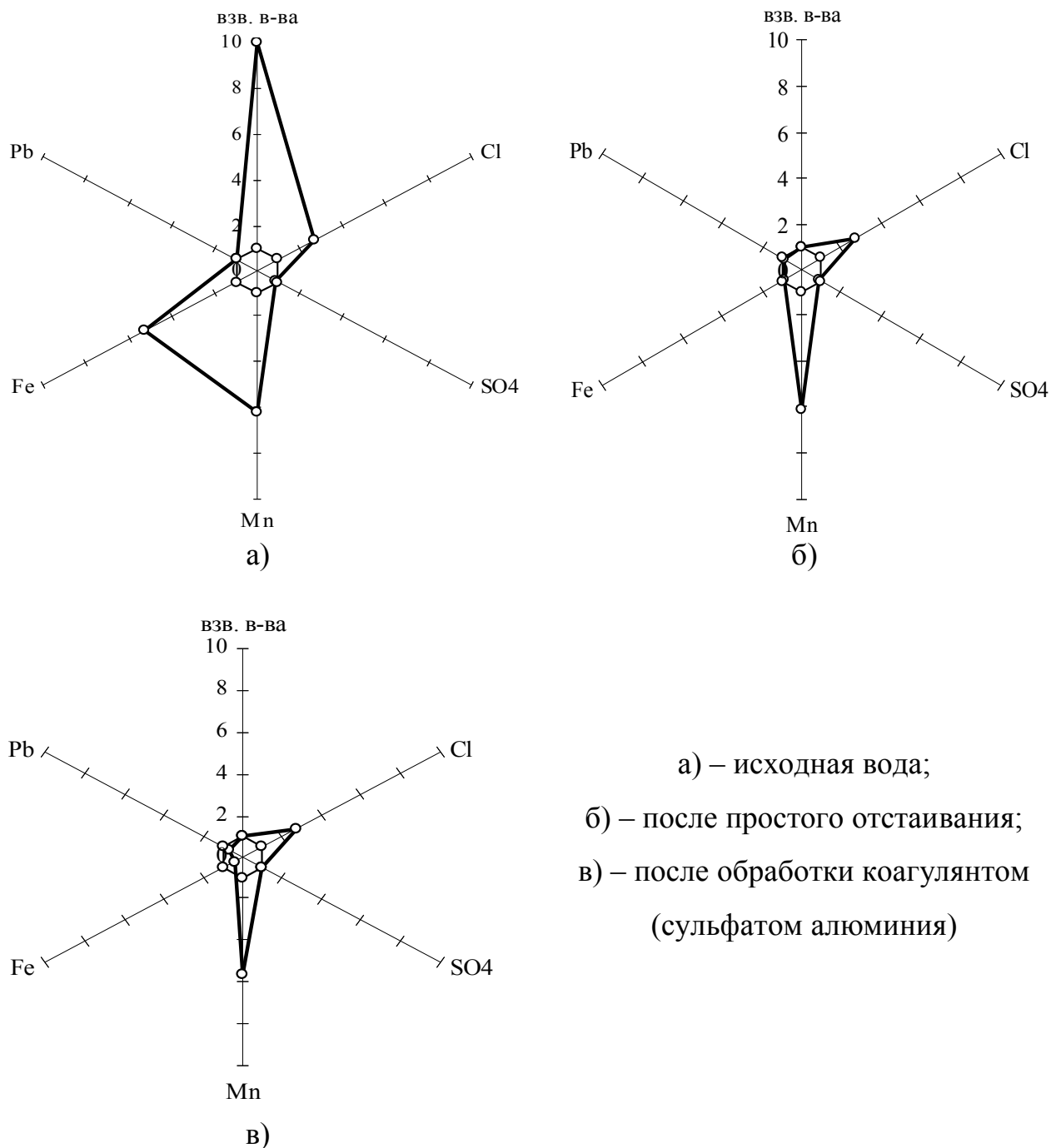


Рис. 4.3. Графические модели комплексной оценки качества шахтной воды до и после реализации предложенного способа ее очистки

Площади многоугольников (F_{ϕ} , см²), ограниченные фактическими значениями величин кратности превышения ПДК (норматива) загрязняющих веществ, составляют:

- для диаграммы (а) – $F_{\phi}=45,0969$ см²,
- для диаграммы (б) – $F_{\phi}=6,7034$ см²,
- для диаграммы (в) – $F_{\phi}=5,006$ см².

Результаты расчетов комплексных экологических коэффициентов ($K_{экр}$), а также класс загрязнения шахтной воды до и после ее отстаивания представлены в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Результаты оценки качества шахтной воды до и после ее отстаивания по комплексному экологическому коэффициенту

Пробы шахтной воды	Значение коэффициента $K_{экр}$	Уровень экологической опасности загрязнения воды
исходная	14,36	очень высокий
после простого отстаивания	2,14	высокий
после реагентного отстаивания	1,6	умеренный

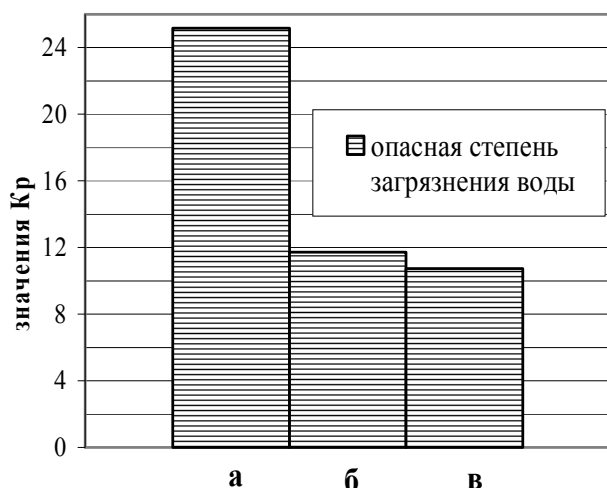
Для обобщения результатов оценки прогнозируемого уровня снижения экологической опасности сброса шахтной воды по комплексу гидрохимических показателей качества воды до и после реализации предложенного способа ее очистки, построены графические модели, представленные на рис. 4.4, а также полученные результаты приведены в сводной табл. 4.8.

Анализ представленных графиков показал, что качество шахтной воды после ее очистки от механических примесей в предложенном отстойнике повышается:

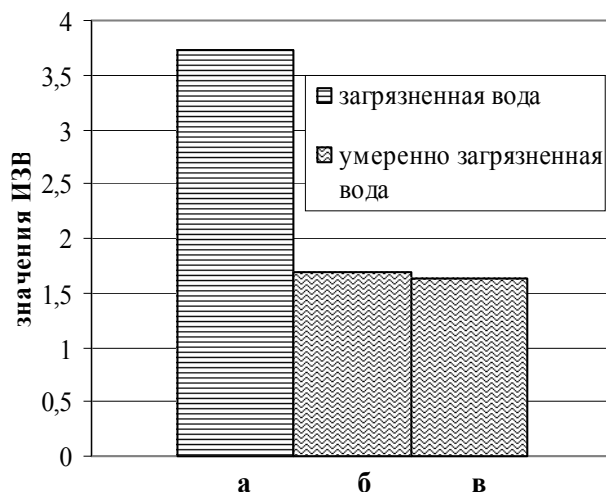
- по органолептическому лимитирующему признаку вредности (ЛПВ) – в 2,2 раза после простого и в 2,4 раза после реагентного отстаивания;
- по интегральному показателю гидрохимического индекса загрязнения воды (ИЗВ) – в 2,2 раза после простого и в 2,3 раза после реагентного отстаивания;

- по значению обобщенной функции желательности (ОФЖ) – приблизительно в 2,3 раза после простого и реагентного отстаивания;

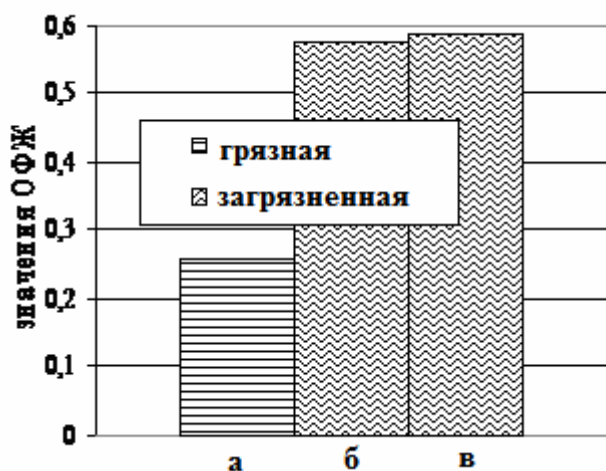
- по комплексному экологическому коэффициенту – в 6,7 и 9 раз после простого и реагентного отстаивания, соответственно.



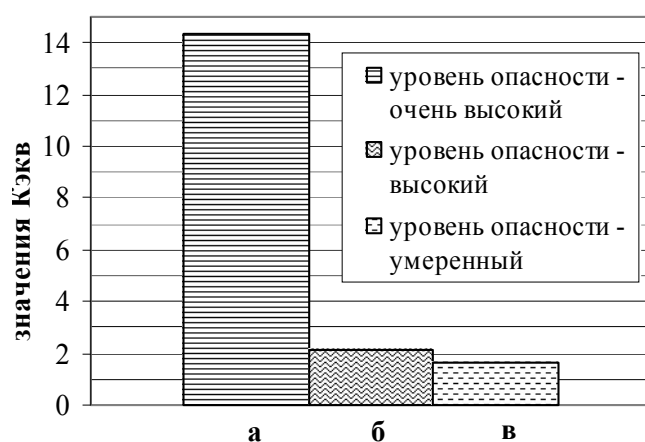
по органолептическому лимитирующему признаку вредности



по интегральному показателю гидрохимического индекса загрязнения воды



по величине обобщенной функции желательности



по комплексному экологическому коэффициенту

Рис. 4.4. Результаты оценки прогнозируемого уровня снижения экологической опасности сброса шахтной воды комплексным методом до и после реализации предложенного способа ее очистки: а) – исходная вода; б) – после простого отстаивания; в) – после обработки коагулянтном

Таблица 4.8

Результаты оценки прогнозируемого уровня снижения экологической опасности сброса шахтной воды по комплексу гидрохимических показателей качества воды при реализации предложенного способа ее очистки

Наименование гидрохимического показателя качества шахтной воды	Количественные и качественные значения гидрохимического показателя		
	исходная шахтная вода	шахтная вода после отстаивания:	
		простого	реагентного
1. Органолептический признак вредности: - уровень экологической опасности	25,16	11,71	10,73
	опасный		умеренно опасный
2. Интегральный показатель гидрохимического загрязнения воды: - качество воды - класс опасности загрязнения воды	3,72	1,68	1,63
	загрязненная	умеренно загрязненная	
	IV	III	
3. Обобщенная функция желательности: - качество воды - класс опасности загрязнения воды	0,259	0,576	0,588
	грязная	загрязненная	
	IV	III	
4. Комплексный экологический коэффициент: - уровень экологической опасности	14,36	2,14	1,6
	очень высокий	высокий	умеренный

Как видно из табл. 4.8, при внедрении разработанного способа снижения уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в водоемы наблюдается снижение уровня экологической опасности по первому, второму и третьему гидрохимическим показателям в 2,2-2,3 раза и в 6,7-9 раз по четвертому показателю. В целом, после реализации предложенного способа очистки загрязненной шахтной воды уровень экологической опасности снижается на 62-65%.

Таким образом, в результате исследования уровня загрязнения шахтной воды по комплексу гидрохимических показателей качества воды при реализации предложенного способа очистки шахтной воды, предусматривающего использование горизонтального отстойника усовершенствованной конструкции, установлено, что качество воды после очистки от механических примесей повышается. Снижение концентрации взвешенных частиц и ионов тяжелых металлов в шахтной воде

после ее отстаивания в предлагаемом отстойнике позволяет повысить уровень экологической безопасности сброса шахтной воды в близлежащие водоемы.

Выводы

1. Усовершенствована методика определения рациональных параметров процесса осветления загрязненной шахтной воды при реализации предложенного способа ее очистки, предусматривающего отстаивание в разработанном горизонтальном отстойнике усовершенствованной конструкции, что позволяет выбрать его основные геометрические параметры, определить прогнозируемую эффективность очистки верхнего слоя шахтной воды с учетом глубины оседания частиц взвеси определенной гидравлической крупности.

2. Эколого-экономическая эффективность от внедрения разработанного способа очистки загрязненной шахтной воды от механических примесей, полученная в результате экономического расчета и определения экологического налога за загрязнение водных объектов, свидетельствует о целесообразности разработанного технического решения. При внедрении разработанного технического решения, по сравнению с традиционными технологиями очистки, годовой экономический эффект составит 253,165 тыс. грн. При этом, удельные капитальные вложения в производственные фонды снизятся на 36%, а экономия экологического налога от загрязнения водных объектов после сброса в близлежащие поверхностные водоемы очищенной шахтной воды составит 193,85 тыс. грн. в год.

3. Проведенные исследования повышения уровня экологической безопасности сброса шахтной воды в поверхностные водоемы после реализации предложенного способа ее очистки показали, что эффективность очистки шахтной воды от взвешенных частиц повышается до 90%, а концентрация ионов тяжелых металлов может быть снижена – марганца, никеля, свинца, хрома на 10-28%, железа, меди, цинка на 77-93%. При этом, прогнозируемый уровень экологической опасности сброса шахтной воды в близлежащие водные объекты после реализации предложенного способа ее очистки снижается на 62-65%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, в которой решена актуальная научная задача, заключающаяся в установлении зависимости уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в поверхностные водоемы предприятиями угольной промышленности от комплекса гидрохимических показателей качества воды. Установленная зависимость послужила основой для разработки способа снижения уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в водоемы и обоснования необходимости внедрения технического решения, что позволяет повысить уровень экологической безопасности сброса шахтной воды предприятиями угольной промышленности в близлежащие водные объекты в соответствии с требованиями государственных санитарных правил и норм охраны поверхностных вод от загрязнения.

Основные выводы, научные и практические задачи, рекомендации, полученные в диссертации:

1. Добыча угля сопровождается откачиванием на поверхность шахтных вод, содержащим в своем составе значительное количество загрязняющих веществ. При этом существенную роль в загрязнении воды играют взвешенные в ней вещества. Существующие для очистки шахтной воды от механических примесей горизонтальные отстойники задерживают только крупные частицы взвеси и дают небольшой эффект осветления, составляющий в среднем 30%. Поэтому одним из путей интенсификации работы отстойников и повышения уровня экологической безопасности сброса шахтной воды является радикальное усовершенствование их конструкции.

2. Установлены зависимости уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в поверхностные водоемы предприятиями угольной промышленности от комплекса гидрохимических показателей качества воды. Оценка уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды предприятиями ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» показала, что по большинству анализируемых гидрохимических показателей, характеризующих качество воды, на-

блюдается значительное превышение установленных ПДК (нормативных значений). Показано, что концентрации загрязняющих веществ в р. Самара после сброса загрязненной шахтной воды из прудов-накопителей увеличиваются на величину до 30% и более, превышая установленные нормативы от 1,2 до 4,2 ПДК.

3. Эффективность очистки шахтной воды от взвешенных веществ определяется продолжительностью ее отстаивания и скоростью оседания (гидравлической крупностью) взвешенных частиц. Полученные соответствующие зависимости от вышеуказанных параметров имеют нелинейный (логарифмический) характер. Они позволяют определять процентное количество частиц взвеси определенной гидравлической крупности, выпадающих в осадок, в течение заданного промежутка времени, и стали основой последующих расчетов и оценок эффективности оседания взвешенных частиц (степени очистки воды) при реализации предложенного способа очистки шахтной воды.

4. Для снижения уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в поверхностные водоемы разработан способ и техническое решение, что позволяет повысить эффективность очистки шахтной воды от механических примесей, снизить концентрацию ионов тяжелых металлов за счет их адсорбции на поверхности частиц взвеси и выпадения в осадок и, как следствие, повысить уровень экологической безопасности сброса очищенной шахтной воды в близлежащие водные объекты.

5. Разработана математическая модель процесса осветления шахтной воды при реализации предложенного способа ее очистки, предусматривающего отстаивание в горизонтальном отстойнике усовершенствованной конструкции, позволяющая оптимизировать его основные геометрические параметры и конструктивные особенности, а также прогнозировать эффективность очистки загрязненной воды от механических примесей по реальным данным водоотлива угольной шахты.

6. Усовершенствована методика определения рациональных параметров процесса осветления загрязненной шахтной воды при реализации предложенного способа ее очистки, что позволяет определить прогнозируемую эффективность

очистки верхнего слоя шахтной воды с учетом глубины оседания частиц взвеси определенной гидравлической крупности.

7. Разработанный способ снижения уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в поверхностные водоемы на основе ее эффективной очистки и усовершенствованная методика определения рациональных параметров процесса осветления шахтной воды при реализации предложенного способа ее очистки включены в план природоохранных мероприятий ПСП «Шахтоуправления Першотравенское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» и ДП НВО «Павлоградского химического завода».

8. Ожидаемый экономический эффект от внедрения разработанного способа снижения уровня экологической опасности сброса загрязненной шахтной воды в поверхностные водоемы на основе ее эффективной очистки, по сравнению с традиционными технологиями очистки, составит 253,165 тыс. грн. в год. При этом, удельные капитальные вложения в производственные фонды снизятся на 36%, а экономия экологического налога от загрязнения водных объектов после сброса очищенной шахтной воды составит 193,85 тыс. грн. в год.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Климентов П.П. Общая гидрогеология / П.П. Климентов – М.: Высшая школа, 1972. – 244 с.
2. Саваренский Ф.П. Гидрогеология и инженерная геология / Ф.П. Саваренский – М.-Л.: ОНТИ НКТП, 1935. – 487 с.
3. Монгайт И.Л. Очистка шахтных вод / И.Л. Монгайт, К.Д. Текиниди, Г.И. Николадзе – М.: Недра, 1978. – 173 с.
4. Назарова Л.Н. Гидрохимическая характеристика и условия формирования шахтных вод восточного Донбасса: автореф. дис. ... канд. хим. наук: спец. 081 /Л.Н. Назарова. – Новочеркасск, 1969. – 27 с.
5. Троянский С.В. Общая и горнорудничная гидрогеология / С.В. Троянский, А.С. Белицкий, А.И. Чекин – М.: Госуд. научн.-техн. изд-во лит-ры по горному делу, 1960. – 392 с.
6. Горшков В.А. Очистка и использование сточных вод предприятий угольной промышленности / В.А. Горшков – М.: Недра, 1981. – 269 с.
7. Трофимович Е.М. Охрана водных объектов при добыче и обогащении руд и углей / Е.М. Трофимович, С.М. Гурвич – М.: Недра, 1985. – 192 с.
8. Сыроватко М.В. Гидрогеология и инженерная геология при освоении угольных месторождений / М.В. Сыроватко – М.: Госгортехиздат, 1960. – 500 с.
9. Прохоров С.П. Требования к гидрогеологической изученности месторождений полезных ископаемых / С.П. Прохоров – М.: Госуд. изд-во геол. лит-ры, 1951. – 44 с.
10. Щеголев Д.И. Рудничные воды / Д.И. Щеголев – М.: Углетехиздат, 1948. – 144 с.
11. Николин В.И. Охрана окружающей среды в горной промышленности / В.И. Николин, Е.С. Матлак – К.-Донецк: Вища школа, 1987. – 192 с.
12. Пономаренко П.И. Шахтные воды Донбасса, их охрана и использование / П.И. Пономаренко, П.М. Моссур, Е.А. Гринцова – Днепропетровск: Наука и образование, 1998. – 50 с.

13. Долина Л.Ф. Сточные воды предприятий горной промышленности и методы их очистки / Л.Ф. Долина – Днепропетровск: Молодежная экологическая лига Приднепровья, 2000. – 43 с.
14. Меркулов В.А. Охрана природы на угольных шахтах / В.А. Меркулов – М.: Недра, 1981. – 184 с.
15. Калмыков Е.П. Борьба с внезапными прорывами воды в горные выработки / Е.П. Калмыков – М.: Недра, 1973. – 237 с.
16. Мухин В.В. Гигиеническая оценка микробного загрязнения и обеззараживания сточных шахтных вод Донецкой области / В.В. Мухин, Г.В. Бакун, А.Д. Амирбеков // Актуальные проблемы транспортной медицины. – 2008. – №4 (14). – С. 65-72.
17. Комплексная переработка шахтных вод / А.Т. Пилипенко [и др.]. – К.: Техніка, 1985. – 185 с.
18. Алекин О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алекин – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1970. – 444 с.
19. Каменский Г.Н. Гидрогеология месторождений полезных ископаемых / Г.Н. Каменский, П.П. Климентов, А.М. Овчинникова – М.: Госгеолиздат, 1953. – 355 с.
20. Матлак Е.С. Снижение загрязненности шахтных вод в подземных условиях / Е.С. Матлак, В.Б. Малеев – К.: Техника, 1991. – 136 с.
21. Навитний А.М. О ликвидации вредного влияния подземных шахтных вод / А.М. Навитний // Уголь. – 2006. – №3. – С. 60-63.
22. Докукин А.В. Возникновение кислотных рудничных вод и борьба с ними / А.В. Докукин, Л.С. Докукина – М.-Л.: Углетехиздат, 1950. – 352 с.
23. Евграшкина Г.П. Закономерности изменения гидрогеологических условий в зоне влияния прудов-накопителей сбросных шахтных вод в Западном Донбассе / Г.П. Евграшкина, Н.Н. Харитонов // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2007. – №1. – С. 16-20.
24. Бычин Н.А. Исследование электролитических методов очистки шахтных вод (на примере Донецкого угольного бассейна): автореф. дис. ... канд. техн. на-

ук: спец. 05.17.01 /Н.А. Бычин. – К., 1973. – 24 с.

25. Охотник К.К. Екологічна оптимізація систем скидання шахтних вод до річкової мережі (на прикладі басейну р. Самари): автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 21.06.01 „Екологічна безпека” / Охотник Катерина Костянтинівна; . – К., 2008. – 20 с.

26. Очистка промышленных сточных вод / А.М. Когановский, Л.А. Кульский, Е.В. Сотникова, Л.В. Шмарук – К.: Техніка, 1974. – 257 с.

27. Родионов А.И. Техника защиты окружающей среды: учебн. для вузов / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, Н.С. Торочешников – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Химия, 1989. – 512 с.

28. Кононенко Н.И. О формировании микроэлементного состава шахтных вод Кузбасса / Н.И. Кононенко, А.П. Ощепкова //Научн. труды ПермНИУИ. – 1975. – Вып. 20. – С. 80-85.

29. Миненко О.А. Содержание микроэлементов в шахтных водах / О.А. Миненко, М.В. Епифанцева //Научн. труды ПермНИУИ. – 1973. – Вып. 16. – С. 130-134.

30. Ощепкова А.П. Применение спектрографического метода для оценки микроэлементного состава шахтных вод / А.П. Ощепкова, Т.Н. Макаревич, Б.Б. Немковский // Очистка шахтных вод: научн. труды ин-та горн. дела. – 1974. – Вып. 18. – С. 60-65.

31. Кононенко Н.И. О макро- и микрокомпонентном составе шахтных и подземных вод Восточного Донбасса / Н.И. Кононенко, А.П. Ощепкова, Б.Б. Немковский // В кн. «Охрана окружающей природной среды в угольной промышленности». – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1977. – С. 108-111.

32. Кононенко Н.И. О формировании микроэлементного состава шахтных вод Кузбасса / Н.И. Кононенко, А.П. Ощепкова // В кн. «Очистка и использование шахтных вод». – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1975. – С. 80-85.

33. Balls P.W. The partition of trace metals between dissolved and particulate phases in European coastal waters: a compilation of field data and comparison with laboratory studies / P.W. Balls // Netherlands Journal of Sea Research. – 1989. –

Vol. 23. – №1. – P. 7-14.

34. Каталог шахтопластов СССР по пылевому фактору / И.Г. Ищук [и др.]. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1995. – 129 с.

35. Фролов А.Г. К методике решения задачи увеличения выхода крупных классов и уменьшения пылеобразования при добыче угля / А.Г. Фролов – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1970. – 64 с.

36. Харионовский А.А. Принципы выбора технологических схем очистки шахтных вод от взвешенных веществ / А.А. Харионовский, Д.И. Комков, А.В. Малышев // Очистка и использование шахтных вод: сб. научн. трудов. – М., 1976. – Вып. XXII. – С. 9-15.

37. Линник П.Н. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах / П.Н. Линник, Ю.Б. Набиванец – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 272 с.

38. Мур Дж.В. Тяжелые металлы в природных водах / Дж.В. Мур, С. Рамамурти – М.: Мир, 1987. – 140 с.

39. Moore J.M. Inorganic contaminants of surface water: research and monitoring priorities / J.M. Moore – N.Y.: Springer-Verlag, 1991. – 366 p.

40. Samiullah Yu. Prediction of the environmental fate of chemicals / Yu. Samiullah – London: Elsevier Science Publishers LTD, 1990. – 271 p.

41. Allen H.J. Metal speciation. Effects on aquatic toxicity / H.J. Allen, H.H. Richard & T.D. Brisbin // Environmental Science and Technology. – 1980. – V. 14. – №4. – P. 441-443.

42. Andrew R.W. Effects of inorganic complexing on the toxicity of copper to *Daphnia magna* / R.W. Andrew, K.E. Biesinger & G.E. Glass // Water Research. – 1977. – Vol. 11. – №3. – P. 309-315.

43. Experimental studies of the relationship between natural copper complexes and their toxicity to phytoplankton / M. Gnassia-Barrelli [and et.]. // Marine Biology. – 1978. – Vol. 47. – №1. – P. 15-19.

44. Guy R.D. Algae as a chemical speciation monitor. – I. A comparison of algal growth and computer calculated speciation / R.D. Guy & A.R. Kean // Water Research. – 1980. – Vol. 14. – №7. – P. 891-899.

45. Pagenkopf G.K. Gill surface interaction model for trace metal toxicity to fishes: Role of complexation, pH and water hardness / G.K. Pagenkopf // *Environmental Science and Technology*. – 1983. – Vol. 17. – P. 342-347.

46. Sposito G. Trace metals in contaminated waters / G. Sposito // *Environmental Science and Technology*. – 1981. – Vol. 15. – №4. – P. 396-403.

47. Effect of lead speciation on toxicity / M.L. Freedman [and et.]. // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. – 1980. – Vol. 25. – №3. – P. 389-393.

48. Florence T.M. Chemical speciation in natural waters / T.M. Florence & G.E. Batley // *C R C Critical Reviews in Analytical Chemistry*. – 1980. – Vol. 9. – №3. – P. 219-296.

49. Chromium effects on coastal organisms / A.J. Mearns [and et.]. // *Water Pollution Control Federation*. – 1976. – Vol. 48. – №8. – P. 1929-1939.

50. Howarth R.S. Copper bethality to rainbow trout in waters of various hardness and pH / R.S. Howarth & J.B. Sprague // *Water Research*. – 1978. – Vol. 12. – №7. – P. 455-462.

51. Solbe J.F. The toxicity of zinc sulphate to rainbow trout in very hard water / J.F. Solbe // *Water Research*. – 1976. – Vol. 8. – №6. – P. 389-391.

52. Распределение тяжелых металлов в воде, взвешенных веществах и донных отложениях Дуная / В.И. Осадчий [и др.]. // *Водные ресурсы*. – 1993. – Т. 20. – С. 455-461.

53. Horowitz A.J. A primer on trace metal-sediment chemistry / A.J. Horowitz – Alexandria: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2277, 1985. – 67 p.

54. Steel K.F. Trace metal relationships in bottom sediments of freshwater stream the Buffalo River, Arkansas / K.F. Steel & G.H. Wagner // *Journal of Sedimentary Petrology*. – 1975. – Vol. 45. – №1. – P. 310-319.

55. Heavy metal pollution in surficial sediments from the Southern Baltic Sea off Poland / P. Szefera [and et.]. // *Journal of Environmental Science and Health. Part A: Environmental Science and Engineering and Toxicology*. – 1996. – Vol. 31. – №10. – P. 2723-2754.

56. Иванова А.А. Процессы превращения соединений металлов в природ-

ных водах / А.А. Иванова, В.Т. Каплин, Т.О. Гончарова // В кн. «Труды IV Всесоюзного гидрологического съезда». – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – Т. 9. – С. 44-53.

57. Лубченко И.Ю. Миграция элементов в речных водах / И.Ю. Лубченко, И.В. Белова // Литология и полезные ископаемые – 1973. – №2. – С. 23-29.

58. Guy R.D. The applications of a simple chemical model of natural waters to metal fixation in particulate matter / R.D. Guy, C.L. Chakrabarti & L.L. Schramm // Canadian Journal of Chemistry. – 1975. – Vol. 53. – №5. – P. 661-669.

59. Коновалов Г.С. Редкие и рассеянные элементы (микроэлементы) в воде и во взвешенных веществах рек Европейской территории СССР / Г.С. Коновалов, А.А. Иванова, Т.Х. Колесников // Гидрохимические материалы. – 1966. – Т. 42. – С. 94-111.

60. Коновалов Г.С. Микроэлементы в воде и во взвешенных веществах рек Азиатской территории СССР / Г.С. Коновалов, А.А. Иванова, Т.Х. Колесников // Гидрохимические материалы. – 1966. – Т. 42. – С. 112-123.

61. Коновалов Г.С. Рассеянные и редкие элементы, растворенные в воде и содержащиеся во взвешенных веществах главнейших рек СССР / Г.С. Коновалов, А.А. Иванова, Т.Х. Колесников // В кн. «Геохимия осадочных пород и руд». – М.: Наука, 1968. – С. 72-87.

62. Experimental study of trace metal chemistry in soft-water lakes at different pH level / T.A. Jackson [and et.]. // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. – 1980. – Vol. 37. – №3. – P. 387-402.

63. Bourg A.C.M. Mobilization of heavy metals as affected by pH and redox conditions / A.C.M. Bourg & J.P.G. Loch // Biogeodynamics of Pollutants in Soils and Sediments. – Berlin: Springer, 1995. – P. 87-102.

64. Steeman-Nielsen E. Influence of deleterious concentrations of copper on the growth of *Chlorella pyrenoidosa* / E. Steeman-Nielsen & L. Kamp-Nielsen // Journal of Plant Physiology. – 1970. – Vol. 23. – №4. – P. 828-840.

65. Вскрытие и подготовка пластов C_6 и C_6^1 в уклонном поле в связи с прирезкой запасов угля участка поля шахты «Западно-Донбасская» №11/13 по шахте «Степная» ПХК «Павлоградуголь». [Проект]. – Т. 1. – Кн. 2. «Охрана окружаю-

щей природной среды». – Дн-ск: Днепрогипрошахт, 2003. – 170 с.

66. Вскрытие и подготовка пластов C_6 и C_6^1 в уклонном поле в связи с прирезкой запасов угля участка поля шахты «Западно-Донбасская» №11/13 по шахте «Степная» ПХК «Павлоградуголь». [Проект]. – Т. 1. – Кн. 3. «Оценка воздействия на окружающую среду». – Дн-ск: Днепрогипрошахт, 2003. – 245 с.

67. Экологический паспорт Днепропетровской области [Электронный ресурс] / под ред. О.Ф. Оксамитного. – Дніпропетровськ: Державне управління охорони навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області, 2013. – 131 с. Режим доступа к документу: <http://www.menr.gov.ua/protection/protection1/dnipropetrovska>.

68. Горова А.І. Біоіндикаційна оцінка впливу вуглевидобувних підприємств Західного Донбасу на стан поверхневих водойм / А.І. Горова, А.В. Павличенко, Д.В. Кулікова // Уголь Украины. – 2009. – №6. – С. 26 – 30.

69. Технологические схемы очистки от взвешенных веществ и обеззараживание шахтных вод: каталог. – М.: ЦНИЭИуголь, 1985. – 76 с.

70. Харионовский А.А. Комплексная очистка шахтных и карьерных вод от техногенных загрязнений / А.А. Харионовский – Шахты: Изд-во ЮРО АГН, 2000. – 238 с.

71. Крупенин А.И. Опыт эксплуатации очистных сооружений предприятий угольной промышленности СССР / А.И. Крупенин, В.С. Малышенко, Б.Б. Лемковский // Очистка шахтных вод на предприятиях угольной промышленности: научн. труды. – Пермь, 1973. – Вып. XV. – С. 3-16.

72. Парахонский Э. В. Охрана труда на карьерах: учебн. пособие / Э.В. Парахонский – М.: Недра, 1988. – 197 с.

73. Леви И.И. Отстойник и промывные устройства. Проектирование, теория и расчет. / И.И. Леви – Л.-М.: ОНТИ НКТП СССР, 1938. – 212 с.

74. Турчинович В.Т. Водоснабжение промышленных предприятий и населенных мест. Ч. III. Улучшение качества воды / В.Т. Турчинович – М.: Стройиздат, 1940. – 348 с.

75. Яснов Б.М. Рациональные методы исследования работы и проектирова-

ния отстойников / Б.М. Яснов, Е.Н. Тетеркин. – М.-Л.: ОНТИ НКТП, 1938. – 237с.

76. Демура М.В. Горизонтальные отстойники / М.В. Демура – К.: Госстройиздат УССР, 1963. – 54 с.

77. Сурин А.А. Исследование на моделях режима работы горизонтальных отстойников / А.А. Сурин, З.Я. Городищер // Водоснабжение: сб. научн. работ. – Ленинград, 1950. – Вып. 1. – С. 37-41.

78. Левин Б.М. Исследование гидродинамики потока в горизонтальных гидравлических классификаторах песка. / Б.М. Левин, В.И. Дровяникова // Вопросы гидравлики открытых русел, трубопроводов и двухкомпонентных сред: труды Московского института инженеров железнодорожного транспорта. – М., 1963. – Вып. 176. – С. 7-12.

79. Демура М.В. Исследование гидродинамических условий потока при движении агрегативно-неустойчивых систем в горизонтальных отстойниках. / М.В. Демура, Е.В. Юрков. – К.: Будівельник, 1974. – 40 с.

80. Кургаев Е.Ф. Основы теории и расчета осветителей / Е.Ф. Кургаев – М.: Госстройиздат, 1962. – 164 с.

81. Фан Гуан-чу. Исследование работы горизонтальных водопроводных отстойников при очистке коагулируемой высокомутной воды: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.16 /Фан Гуан-чу. – М., 1960. – 33 с.

82. Ересенков Н.И. О расчете горизонтальных отстойников малых размеров при заборе воды из каналов, рек и прудов / Н.И. Ересенков // Сборник трудов Новочеркасского инженерно-мелиоративного института. – Новочеркасск, 1955. – Т. V. – С. 29-34.

83. Береза А.И. Влияние условий впуска и выпуска воды на гидравлический режим модели отстойника / А.И. Береза, А.Ф. Канонов, Г.М. Смирнов // Сборник трудов кафедры гидравлики. – 1965. – Вып. 24. – С. 56-61.

84. Кедров Ю.В. Исследования водораспределительных устройств в многоярусных отстойниках / Ю.В. Кедров // Труды ин-та ВОДГЕО. – 1973. – Вып. 40. – Ч. 1. – С. 6-10.

85. Харионовский А.А. Оценка способов повышения работы горизонталь-

ных отстойников / А.А. Харионовский, И.А. Золотухин // В кн. «Охрана окружающей природной среды». – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1978. – С. 14-20.

86. Павлов М.С. Исследование горизонтальных напорных пластинчатых отстойников / М.С. Павлов // Водоснабжение и санитарная техника. – 1976. – №7. – С. 36-38.

87. Коверга А.В. Повышение эффективности процесса осветления воды / А.В. Коверга, И.Ю. Арутюнова, Б.В. Малышев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – №10. – Ч. 1. – С. 43-48.

88. Вольфтруб Л.И. Опыт модернизации отстойников и осветлителей на станциях водоподготовки / Л.И. Вольфтруб, В.М. Корабельников, А.Е. Гудошникова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – №5. – С. 47-52.

89. Орлов В.О. Интенсификация работы водоочистных сооружений / В.О. Орлов, Б.И. Шевчук. – К.: Будівельник, 1989. – 126 с.

90. Токарь И.Я. Усовершенствование горизонтальных отстойников водоочистных сооружений / И.Я. Токарь, Д.Г. Сухоруков // Науковий вісник будівництва. – 2007. – Вип. 40. – С. 140-144.

91. Токарь И.Я. Решение задачи гидромеханики потоков в горизонтальном отстойнике водоочистных сооружений с пористой перегородкой / И.Я. Токарь, Д.Г. Сухоруков, А.И. Рязанцев // Науковий вісник будівництва. – 2008. – Вип. 50. – С. 146-154.

92. Фесенко А.Г. Определение функциональной зависимости распределения мутности в горизонтальном отстойнике / А.Г. Фесенко // Науковий вісник будівництва. – 2008. – Вип. 50. – С. 132-136.

93. Токарь И.Я. Расчет горизонтальных отстойников водоочистных сооружений с отбором осветленной воды через поперечные трубы, расположенные вблизи зеркала потока, и лоток – на задней торцевой стенке / И.Я. Токарь, А.Г. Фесенко // Науковий вісник будівництва. – 2010. – Вип. 57. – С. 146-154.

94. Сухоруков Д.Г. Експериментальні дослідження роботи горизонтального відстійника з пористою полімербетонною перегородкою / Д.Г. Сухоруков // Нау-

ковий вісник будівництва. – 2009. – Вип. 51. – С. 150-155.

95. Токарь И.Я. Влияние геометрических, кинематических параметров и структуры пористых перегородок на эффективность работы горизонтальных отстойников водоочистных сооружений / И.Я. Токарь, А.И. Рязанцев, Д.Г. Сухоруков // Науковий вісник будівництва. – 2009. – Вип. 52. – С. 160-165.

96. Береза А.И. Вопросы гидравлики горизонтальных отстойников / А.И. Береза – Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1966. – 179 с.

97. Гнедин К.В. Режим работы и гидравлика горизонтальных отстойников / К.В. Гнедин – К.: Будівельник, 1974. – 224 с.

98. Азерьер С.Х. Водоснабжение на железнодорожном транспорте / С.Х. Азерьер – М.: Гос-ное транспортное железнодорожное изд-во, 1940. – 509 с.

99. Соболева И.М. Использование сбросных вод угольных шахт для технического и хозяйственно-бытового водоснабжения / И.М. Соболева, С.В. Пельтихин, А.А. Демура // Водоснабжение и санитарная техника. – 1964. – №10. – С. 37-38.

100. Шифрин С.М. Современные способы механической очистки сточных вод / С.М. Шифрин – М.: Госстройиздат, 1956. – 179 с.

101. Соболева И.М. Эффективность осветления шахтных вод Донбасса / И.М. Соболева, С.В. Пельтихин // Проектирование и строительство угольных предприятий. – 1970. – №11-12. – С. 12-15.

102. Соболева И.М. Установка для очистки шахтных вод / И.М. Соболева // Уголь Украины. – 1964. – №2. – С. 47-48.

103. Шифрин С.М. Отстаивание сточных вод в покое / С.М. Шифрин // Исследования по санитарной технике: сб. научн. трудов. – 1953. – Вып. 16. – С. 47-70.

104. Шифрин С.М. Расчет горизонтальных канализационных отстойников на заданный эффект осветления сточной жидкости / С.М. Шифрин // Исследования по санитарной технике: сб. научн. трудов. – 1957. – Вып. 25. – С. 14-27.

105. Яковлев С.В. Механическая очистка сточных вод / С.В. Яковлев, В.И. Калицун – М.: Из-во лит-ры по строительству, 1972. – 200 с.

106. Жаров С.В. К вопросу об очистке шахтных вод на угольных предприятиях Средней Азии / С.В. Жаров // Очистка шахтных вод на предприятиях угольной промышленности: научн. труды. – Пермь, 1973. – Вып. XV. – С. 39-42.

107. Текиниди К.Д. Влияние вещественного состава взвеси на эффект осветления шахтных вод / К.Д. Текиниди // Очистка и использование шахтных вод: научн. труды. – М., 1976. – Вып. XXII. – С. 15-22.

108. Жуков А.И. Канализация промышленных предприятий. Очистка промышленных сточных вод / А.И. Жуков, И.Л. Монгайт, И.Д. Родзиллер – М.: Госстройиздат, 1962. – 603 с.

109. Пискунов П.И. Горизонтальные водопроводные отстойники / П.И. Пискунов – М.: Госстройиздат, 1953. – 80 с.

110. Вейцер Ю.И. Осаждение коагулирующих суспензий / Ю.И. Вейцер, З.А. Колобова // Водоснабжение. – 1960. – Вып. 1. – С. 56-72 с.

111. Кастальский А.А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения: учебн. пособие для вузов / А.А. Кастальский, Д.М. Минц. – М.: Высшая школа, 1962. – 558 с.

112. Скирдов И.В. Новый тип отстойника с подвижными водораспределительным и водосборным устройствами / И.В. Скирдов // Водоснабжение и санитарная техника. – 1960. – №11. – С. 5-9.

113. Арент Т.Н. Экспериментальные исследования работы горизонтальных канализационных отстойников на аэродинамической модели / Т.Н. Арент // Труды ЛИСИ. – 1951. – №31. – С.27-32.

114. Тетеркин Е.Н. Физические и технологические свойства взвесей, образующихся при обработке воды / Е.Н. Тетеркин, Н.С. Лебедева – М.: Институт ВОДГЕО, Госстройиздат, 1952. – 54 с.

115. Fischerstrom, Claes N.H. Sedimentation in rectangular basins / Claes N.H. Fischerstrom. – New York: American Society of Civil Engineers, 1955. – 29 p.

116. Селезнев С.Н. Очистка шахтных вод / С.Н. Селезнев, В.В. Симонов, А.И. Маслюк – Донецк: Донбасс, 1975. – 110 с.

117. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и оп-

ределения: ГОСТ 15467-79. – [Действует с 1979-]. – М.: Госстандарт СССР, 1979. – 12 с.

118. Отчет санитарно-профилактической лаборатории ГОАО ПСУРЗ за 2001 год. – Терновка: Павлоградское специализированное управление рекультивации земель, 2002. – 44 с.

119. Отчет санитарно-профилактической лаборатории ГОАО ПСУРЗ за 2011 год. – Терновка: Павлоградское специализированное управление рекультивации земель, 2012. – 51 с.

120. Звіт про стан навколишнього середовища в Дніпропетровській області за 2001 рік. – Дніпропетровськ: Державне управління екологічної безпеки в Дніпропетровській області, 2002. – 127 с.

121. Экологический паспорт Днепропетровской области [Электронный ресурс] /под ред. О.Ф. Оксамитного. – Дніпропетровськ: Державне управління охорони навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області, 2012. – 135 с. Режим доступа к документу: <http://www.menr.gov.ua/protection/protection1/dnipropetrovska>.

122. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнений: СанПиН 4630-88. – М.: Минздрав СССР, 1988. – 174 с.

123. Якість води. Словник термінів: ДСТУ ISO 6107-1:2004 – ДСТУ ISO 6107-9:2004. – [Чинний від 2005-04-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 181 с. – (Національні стандарти України).

124. Федоров В.Д. Количественные подходы к проблеме оценки нормы и патологии экосистем / В.Д. Федоров, В.Б. Сахаров, А.П. Левич // Человек и биосфера. – 1981. – Вып. 6. – С. 3-42.

125. Воробейчик Е.А. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем / Е.А. Воробейчик, О.Ф. Садыков, М.Г. Фарафонов – Екатеринбург: УИФ «Наука», 1984. – 280 с.

126. Новиков Ю.В. Оценка качества воды по комплексным показателям / Ю.В. Новиков, С.И. Плитман // Гигиена и санитария. – 1984. – №11. – С. 7-11.

127. Шитиков В.К. Количественная гидроэкология: методы, критерии, ре-

шения: в 2-х книгах / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко – М.: Наука, 2005. – 2 кн.

128. Фруммин Г.Т. Комплексная оценка загрязненности Ладожского озера по гидрохимическим показателям / Г.Т. Фруммин, Л.В. Баркан // Водные ресурсы. – 1997. – Т. 24. – №1. – С. 315-319.

129. Баканов А.И. Использование комбинированных индексов для мониторинга пресноводных водоемов по зообентосу / А.И. Баканов // Водные ресурсы. – 1999. – Т. 26. – №1. – С. 108-111.

130. Зинченко Т.Д. Методологический подход к оценке экологического состояния речных систем по гидрохимическим и гидробиологическим показателям / Т.Д. Зинченко, Л.А. Выхристюк, В.К. Шитиков // Изв. Самар. НЦ РАН. – 2000. – Т. 2. – №2. – С. 233-244.

131. Фруммин Г.Т. Экологически допустимые уровни воздействия металлами на водные экосистемы / Г.Т. Фруммин // Биология внутренних вод. – 2000. – №1. – С. 125-134.

132. Интегральная оценка экологического состояния водных объектов по гидрохимическим и гидробиологическим показателям / Д.Б. Гелашвили [и др.]. // Изв. Самар. НЦ РАН. – 2002. – Т. 4. – №2. – С. 270-276.

133. Нежныховский Р.А. Гидролого-экологические основы водного хозяйства / Р.А. Нежныховский – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 232 с.

134. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: ДСанПіН 2.2.4-171-10. – К.: Офіційний вісник України, 2010. – №51. – С. 100-129.

135. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод. – М.: Госкомгидромет СССР, 1986. – 5 с.

136. Гелашвили Д.Б. Применение интегральных показателей на основе функции желательности для комплексной оценки качества сточных вод / Д.Б. Гелашвили, А.В. Лисовенко, М.Е. Безруков // Поволжский экологический журнал. – 2010. – №4. – С. 343-350.

137. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных ус-

ловий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский – М.: Наука, 1976. – 279 с.

138. Носов В.Н. Построение функции желательности при анализе данных экологического мониторинга / В.Н. Носов, Н.Г. Булгаков, В.Н. Максимов // Изв. РАН. Сер. биол. – 1997. – №1. – С. 69-74.

139. Булгаков Н.Г. Индикация состояния природных экосистем и нормирование факторов окружающей среды. Обзор существующих подходов / Н.Г. Булгаков // Успехи современной биологии. – 2002. – Т. 122. – №2. – С. 115-135.

140. Применение обобщенной функции желательности для оценки экологической обстановки на объектах разного масштаба: город, регион / Д.Б. Гелашвили [и др.]. // Проблемы региональной экологии. – 2009. – №2. – С. 83-87.

141. Малі річки України: довідник / за ред. А.В. Яцика – К.: Урожай, 1991. – 296 с.

142. Жуков А.И. Методы очистки производственных сточных вод / А.И. Жуков, И.А. Монгайт, И.Д. Родзиллер – М.: Стройиздат, 1977. – 204 с.

143. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: СНиП 2.04.02-84. – М.: Стройиздат, 1985. – 136 с.

144. Проектирование сооружений для очистки сточных вод (Справочное пособие к СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения»). – М.: Стройиздат, 1990. – 192 с.

145. Шифрин С.М. Новый метод расчета горизонтальных и радиальных канализационных отстойников / С.М. Шифрин – В кн.: Водоснабжение и канализация. – М.: Изд-во МКХ РСФСР, 1958. – С. 95-98.

146. Пономарев В.Г. Моделирование и расчет отстойников / В.Г. Пономарев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – №1. – С. 37-41.

147. Токарь И.Я. К расчету горизонтальных отстойников водоочистных сооружений (Ч. III) / И.Я. Токарь, С.Ю. Костенко // Науковий вісник будівництва. – 2003. – Вип. 22. – С. 136-145.

148. Токарь И.Я. К расчету горизонтальных отстойников водоочистных сооружений (Ч. IV) / И.Я. Токарь, С.Ю. Костенко // Науковий вісник будівництва. –

2003. – Вип. 24. – С. 92-96.

149. Токарь И.Я. Методика расчета горизонтальных отстойников водоочистных сооружений / И.Я. Токарь, А.Г. Фесенко // Науковий вісник будівництва. – 2009. – Вип. 52. – С. 136-142.

150. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды / Д.М. Минц – М.: Изд-во лит-ры по строительству, 1964. – 156 с.

151. Клячко В.А. Подготовка воды для промышленного и городского водоснабжения / В.А. Клячко, И.Э. Апельцин – М.: Госстройиздат, 1962. – 818 с.

152. Кастальский А.А. Удаление взвешенных веществ осаждением / А.А. Кастальский, Д.М. Минц. – М.: Высшая школа, 1962. – 140 с.

153. Кумина Т.Д. Расчет выноса взвеси из радиальных и горизонтальных отстойников / Т.Д. Кумина // Труды Ленинградского политехн. ин-та. – 1982. – №383. – С. 77-80.

154. Калицун В.И. Определение показателя осаждаемости взвеси / В.И. Калицун // Водоснабжение и санитарная техника. – 1968. – №4. – С.17-23.

155. Скирдов И.В. Кинетика отстаивания взвешенных веществ сточных вод / И.В. Скирдов // Водоснабжение и санитарная техника. – 1993. – №6. – С. 4-7.

156. Харионовский А.А. Методика определения кинетики оседания взвеси в шахтных водах / А.А. Харионовский, И.А. Золотухин // Водоснабжение и санитарная техника. – 1979. – №12. – С. 13-14.

157. Алюминия сульфат технический очищенный: ГОСТ 12966-85. – [Действует с 1985-]. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 13 с.

158. Коагулянты для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Общие требования и метод определения эффективности: ГОСТ Р 51642-2000. – [Действует с 2000-]. – М.: Госстандарт России, 2000. – 12 с.

159. Методические указания по подготовке исходных данных для проектирования очистных сооружений шахтных вод / А.А. Харионовский [и др.]. – М.: ВНИИОСуголь, 1979. – 42 с.

160. Гурвич Д.Л. Гидравлика / Д.Л. Гурвич, Н.З. Френкель. – 2-е изд., перераб. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1940. – 356 с.

161. Ухин Б.В. Гидравлика: учебн. пособие / Б.В. Ухин – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2009. – 464 с.
162. Патент UA № 98382 України, МПК (2006) B01D 21/02. Пристрій для очистки скидів від завислих речовин /Колесник В.Є., Кулікова Д.В.; заявл. 08.10.2010; опубл. 10.05.2012; Бюл. № 9.
163. Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике / М.Я. Выгодский – М.: Наука, 1976. – 336 с.
164. Robescu D. Design Lamellar Secondary Settling Tank Using Numerical Modelling / D. Robescu, C. Mandiş, D. Robescu // U.P.B. Sci. Bull. – Series D, Vol. 72, Iss. 4, 2010. – P. 211-216.
165. Беляев Н.Н. Математическое моделирование массопереноса в отстойниках систем водоотведения / Н.Н. Беляев, Е.К. Нагорная. – Дн-ск: Нова ідеологія, 2012. – 112 с.
166. Гуревич М.И. Теория струй идеальной жидкости / М.И. Гуревич – М.: Наука, 1979. – 536 с.
167. Лаврентьев М.А. Проблемы гидродинамики и их математическое моделирование / М.А. Лаврентьев, Б.В. Шабат. – М.: Наука, 1977. – 408 с.
168. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский – М.: Наука, 1978. – 735 с.
169. Самарский А.А. Теория разностных схем / А.А. Самарский – М.: Наука, 1983. – 616 с.
170. Griborio A. Secondary Clarifier Modelling: A Multi-Process Approach A Dissertation: Doctor of Philosophy in The Engineering and Applied Sciences Program / Alonso G. Griborio. – University of New Orleans, USA, 2004. – 440 p.
171. Shahrokhi M. The Computational Modelling of Baffle Configuration in the Primary Sedimentation Tanks /M. Shahrokhi, F. Rostami, Md Azlin Md Said, Syafalni //2nd International Conference on Environmental Science and Technology Singapore, 2011. – Vol. 6. – pp. V2-392 – V2-396.
172. Згуровский М.З. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М.З. Згуровский [и др.]. – К.: Наук. думка, 1997. –

368 с.

173. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г.И. Марчук – М.: Наука, 1982. – 320 с.

174. Роуч П. Вычислительная гидродинамика / П. Роуч – М.: Мир, 1980. – 616 с.

175. Патент РФ № 2385175. Устройство для очистки сбросов от взвешенных частиц. МПК В01D 21/02. /Сенкус Вас.В., Конакова Н.И., Стефанюк Б.М., Сенкус В.В. и др. Заявл. 15.10.2008; опубл. 27.03.2010. Бюл. №9.

176. Колесник В.Е. Обоснование геометрических параметров усовершенствованного горизонтального отстойника для условий водоотлива действующей шахты / В.Е. Колесник, Д.В. Куликова // Збірник наукових праць НГУ. – 2012. – №39. – С. 229-239.

177. Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – М.: Стройиздат, 1979. – 65 с.

178. Отраслевая инструкция определения экономической эффективности капитальных вложений в угольной промышленности. – М.: Стройиздат, 1986. – 73 с.

179.ДБН Д.2.2-6-99. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. – К.: Держбуд України, 2000. – 70 с. – (Державні будівельні норми України).

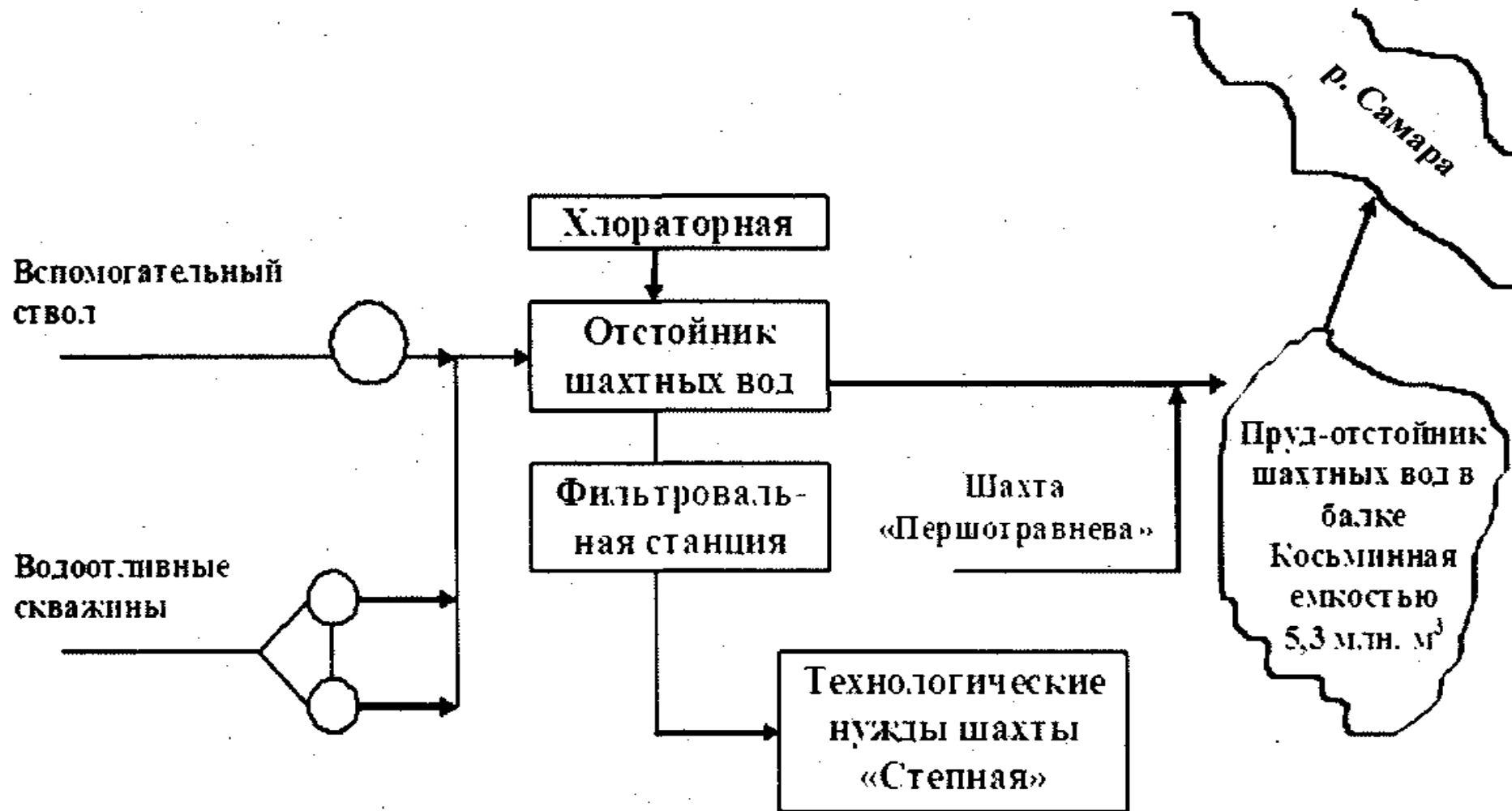
180. ДБН Д.2.2-9-99. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. – К.: Держбуд України, 2000. – 77 с. – (Державні будівельні норми України).

181. Податковий кодекс України № 2755-VI від 02.12.2010. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2755-17>.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А
СХЕМА ВОДОУЛИВНОГО КОМПЛЕКСА ШАХТЫ «СТЕПНАЯ» ПАО «ДТЭК «ПАВЛОГРАДУГОЛЬ»

Копия



ПРИЛОЖЕНИЕ Б
СРЕДНЕГОДОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ШАХТНОЙ
ВОДЫ УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ» И ВОДЫ р. САМАРА НА ТЕРРИТО-
РИИ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

Таблица Б.1

Среднегодовые значения физико-химических показателей качества шахтной воды угледобывающих предприятий
 ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

Показатели	Норматив (ПДК) со- гласно Регламента сброса для б. Косминная	Название угледобывающего предприятия:					
		шахта «Степная»		шахта «Юбилей- ная»		шахта им. «Н.И. Сташкова»	
		2001	2011	2001	2011	2001	2011
Взвешенные вещества, мг/дм ³	20	175,33	55,325	50,3	66	59,8	68,5
Хлориды, мг/дм ³	969	1661,4	6369,1	613,58	891,55	1124,18	1689,19
Сульфаты, мг/дм ³	719	564,38	787,63	636,05	865,47	338,1	537,9
Железо, мг/дм ³	0,5	8,78	0,41	5,25	0,57	4,743	0,8
Азот аммонийный, мг/дм ³	0,39	0,99	0,3725	0,588	0,36	0,925	0,44
Нитриты, мг/дм ³	0,08	0,085	0,083	0,063	0,03	0,152	0,085
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,57	1,225	0,6983	1,463	0,98	1,25	0,98
БПК, мгО ₂ /дм ³	4,6	5,03	6,74	5,5	8,3	6,325	9,6
Сухой остаток, мг/дм ³	3323	4449,25	11172,75	2698,75	2608	2729	3515
Марганец, мг/дм ³	0,1	-	0,1325	-	0,1	-	0,18
Хром, мг/дм ³	0,55	-	0,002	-	0,001	-	0,001
Никель, мг/дм ³	0,1	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Цинк, мг/дм ³	1	-	0,005	-	0,005	-	0,005
Медь, мг/дм ³	1	-	0,01	-	0,01	-	0,01
Кобальт, мг/дм ³	0,1	-	0,0025	-	0,0025	-	0,0025

продолжение табл. Б.1

Показатели	Название угледобывающего предприятия:							
	шахта «Днепровская»		шахта «Самарская»		шахта «Западно-Донбасская»		шахта «Терновская»	
	2001	2011	2001	2011	2001	2011	2001	2011
Взвешенные вещества, мг/дм ³	161,07	62,4	116,075	57	163,63	47,75	520,97	48,3
Хлориды, мг/дм ³	2982,2	4588,4	3098,825	2439,85	14247,27	18849,375	1297,07	1415,765
Сульфаты, мг/дм ³	583,83	672,39	492,275	461,06	425,2	456,253	360,77	403,37
Железо, мг/дм ³	4,35	0,7875	2,79	0,493	0,49	0,53	4,55	0,4675
Азот аммонийный, мг/дм ³	1,07	0,23	0,8325	0,3475	3,03	0,265	4,07	0,3
Нитриты, мг/дм ³	0,22	0,1195	0,0395	0,0825	0,243	0,0425	0,137	0,03
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,97	0,9075	1,05	0,895	0,333	0,835	1,6	1,0075
БПК, мгО ₂ /дм ³	4,09	6,3	5,7	7,9325	3,15	5,3075	9,6	8,68
Сухой остаток, мг/дм ³	5956,67	8294,77	6410,5	4733,67	25089,67	31015,075	2571,33	2906,26
Марганец, мг/дм ³	-	0,3	-	0,42	-	0,1975	-	0,4
Хром, мг/дм ³	-	0,002	-	0,001	-	0,001	-	0,002
Никель, мг/дм ³	-	0,05	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Цинк, мг/дм ³	-	0,005	-	0,005	-	0,005	-	0,005
Медь, мг/дм ³	-	0,01	-	0,01	-	0,01	-	0,01
Кобальт, мг/дм ³	-	0,0025	-	0,0025	-	0,0025	-	0,0025

продолжение табл. Б.1

Показатели	Название угледобывающего предприятия:					
	шахта «Павлоградская»		шахта «Благодатная»		шахта им. «Героев Космоса»	
	2001	2011	2001	2011	2001	2011
Взвешенные вещества, мг/дм ³	79,53	64,3	393,17	65,5	219,875	46,7
Хлориды, мг/дм ³	2689,87	1343,95	9711,75	8255,42	20891,15	21785,14
Сульфаты, мг/дм ³	541,9	537,83	655,175	671,57	539,325	398,64
Железо, мг/дм ³	4,07	0,38	15,25	0,94	2,9725	0,523
Азот аммонийный, мг/дм ³	1,023	0,37	1,875	0,23	8,175	0,17
Нитриты, мг/дм ³	0,16	0,05	0,1725	0,11	0,8175	0,0325
Нефтепродукты, мг/дм ³	1,37	0,93	1,2	0,93	1,25	0,9425
БПК, мгО ₂ /дм ³	1,65	7,62	4,0	7,17	7,05	6,725
Сухой остаток, мг/дм ³	6633,33	3102,67	17746,75	14166,67	37361	35510,84
Марганец, мг/дм ³	-	0,22	-	0,28	-	0,1225
Хром, мг/дм ³	-	0,001	-	0,001	-	0,002
Никель, мг/дм ³	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Цинк, мг/дм ³	-	0,005	-	0,005	-	0,005
Медь, мг/дм ³	-	0,01	-	0,01	-	0,01
Кобальт, мг/дм ³	-	0,0025	-	0,0025	-	0,0025

Таблица Б.2

Среднегодовые значения физико-химических показателей качества воды р. Самара на территории промышленной зоны Западно-Донбасского региона

Показатели	Значения ПДК для водоемов хозяйственно-бытового назначения	на входе в промышленную зону Западно-Донбасса		ниже сброса из пруда-накопителя шахтных вод в б. Косьминная		выше сброса из пруда-накопителя шахтных вод в б. Свидовок	
		2001	2011	2001	2011	2001	2011
Взвешенные вещества, мг/дм ³	10,75	34,4	17,2	78,5	20,425	29,35	23,65
Хлориды, мг/дм ³	350	420	616	861	784	626,5	805
Сульфаты, мг/дм ³	500	1040	1170	1050	1285	1200	1200
БПК, мгО ₂ /дм ³	3	6,6	11,16	6,69	12,6	4,8	11,28
ХПК, мгО ₂ /дм ³	30	17,9	14,9	16,9	16,5	18,5	15,7
Сухой остаток, мг/дм ³	1000	2700	2900	3300	3300	3200	3140
Азот аммонийный, мг/дм ³	2,56	0,39	0,37	0,4	0,36	0,46	0,35
Нитриты, мг/дм ³	3,3	0,06	0,03	0,044	0,03	0,043	0,06
Нитраты, мг/дм ³	45	1,0	1,6	0,8	1,9	1,2	2,3
Фосфаты, мг/дм ³	3,5	0,67	0,38	0,6	0,18	0,34	0,26
Железо, мг/дм ³	0,3	0,45	0,36	0,39	0,432	0,48	0,339
Медь, мг/дм ³	1	0,033	0,022	0,046	0,024	0,051	0,024
Цинк, мг/дм ³	1	0,005	0,008	0,01	0,01	0,014	0,008
Хром, мг/дм ³	0,55	0,013	0,005	0,024	0,008	0,021	0,009
Марганец, мг/дм ³	0,1	0,015	0,022	0,014	0,024	0,025	0,026
Свинец, мг/дм ³	0,03	0,023	0,005	0,041	0,007	0,042	0,008
Никель, мг/дм ³	0,1	0,065	0,023	0,062	0,026	0,062	0,028
Кобальт, мг/дм ³	0,1	0,078	0,019	0,08	0,025	0,062	0,029
Кадмий, мг/дм ³	0,001	0,0049	0,0014	0,0073	0,0017	0,0083	0,0024
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,3	0,52	0,459	0,63	0,45	0,68	0,399

продолжение табл. Б.2

Показатели	р. Самара, ниже сброса из пруда-накопителя шахтных вод в б. Свидовок		р. Самара, на выходе из промышленной зоны Западно-Донбасского региона	
	2001	2011	2001	2011
Взвешенные вещества, мг/дм ³	41,2	22,575	25,0	12,9
Хлориды, мг/дм ³	934,5	1347,5	588	770
Сульфаты, мг/дм ³	1275	1330	750	770
БПК, мгО ₂ /дм ³	7,5	12,33	5,7	10,74
ХПК, мгО ₂ /дм ³	16,2	16,5	29	31
Сухой остаток, мг/дм ³	4800	4120	2270	2550
Азот аммонийный, мг/дм ³	0,39	0,22	0,13	0,33
Нитриты, мг/дм ³	0,043	0,037	0,048	0,084
Нитраты, мг/дм ³	2,6	2,4	1,3	1,5
Фосфаты, мг/дм ³	0,6	0,32	0,63	0,56
Железо, мг/дм ³	0,621	0,36	0,42	0,342
Медь, мг/дм ³	0,044	0,023	0,004	0,01
Цинк, мг/дм ³	0,013	0,009	0,013	0,012
Хром, мг/дм ³	0,02	0,01	0,006	0,01
Марганец, мг/дм ³	0,027	0,027	0,047	0,043
Свинец, мг/дм ³	0,034	0,009	0,01	0,008
Никель, мг/дм ³	0,065	0,026	0,034	0,023
Кобальт, мг/дм ³	0,066	0,023	0,027	0,018
Кадмий, мг/дм ³	0,0103	0,0022	0,0055	0,0022
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,73	0,444	0,58	0,51

ПРИЛОЖЕНИЕ В
КЛАССИФИКАЦИИ КАЧЕСТВА ВОДЫ ПО КОМПЛЕКСУ ГИДРО-
ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Таблица В.1

Классификация качества воды по лимитирующему признаку вредности
 компонентов воды

Уровень экологической опасности загрязнения воды токсичными элементами		Степень экологической опасности загрязнения воды	Значение коэффициента K_p
I, II класс опасности	III, IV класс опасности		
минимальный		не опасное загрязнение	<1
высокий (сильный)	низкий (слабый)	потенциально опасное загрязнение	1-10
очень высокий (очень сильный)	высокий (сильный)	опасное загрязнение	10-100
очень высокий (очень сильный)	очень высокий (очень сильный)	особо опасное загрязнение	>100

Таблица В.2

Классификация качества воды в зависимости от значения индекса загрязнения

Качество воды	Значения <i>ИЗВ</i>	Класс экологической опасности загрязнения воды
Очень чистые	<0,2	I
Чистые	0,2–1,0	II
Умеренно загрязненные	1,0–2,0	III
Загрязненные	2,0–4,0	IV
Грязные	4,0–6,0	V
Очень грязные	6,0–10,0	VI
Чрезвычайно грязные	>10,0	VII

Таблица В.3

Категории качества сточных вод по значению ОФЖ

Качество сточных вод	Обобщенная функция желательности D	Класс экологической опасности загрязнения воды
Очень чистая	0,99	0
Чистая	0,99 – 0,80	I
Умеренно загрязненная	0,80 – 0,63	II
Загрязненная	0,63 – 0,37	III
Грязная	0,37 – 0,20	IV
Очень грязная	0,20 – 0,01	V

Таблица В.4

Классификация качества воды в зависимости от значения комплексного экологического показателя $K_{ЭКВ}$

Значение $K_{ЭКВ}$	<1	1-1,83	1,83-2,63	>2,63
Уровень экологической опасности загрязнения воды	допустимый	умеренный	высокий	очень высокий

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
ОПАСНОСТИ СБРОСА ЗАГРЯЗНЕННОЙ ШАХТНОЙ ВОДЫ КОМПЛЕКС-
НЫМ МЕТОДОМ

Таблица Г.1.1

Результаты исследования уровня экологической опасности загрязненной воды, откачиваемой шахтами ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», по органолептическому лимитирующему признаку вредности (ЛПВ)

Показатели по годам	Значения показателей загрязнения шахтной воды, согласно порядковому номеру шахты:									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2001 год										
- значение коэффициента K_p	52,69	68,54	20,05	32,59	40,6	24,14	17,12	19,04	32,31	17,91
- степень экологической опасности	опасная									
- уровень экологической опасности	высокий									
2011 год										
- значение коэффициента K_p	39,72	22,67	10,38	35,87	11,11	16,78	10,23	13,24	16,88	8,83
- степень экологической опасности	опасная									потенциально опасная
- уровень экологической опасности	высокий									низкий

Таблица Г.1.2

Результаты исследования уровня экологической опасности воды, отобранной по течению р. Самара на территории промышленной зоны Западного Донбасса, по органолептическому лимитирующему признаку вредности (ЛПВ)

Показатели по годам	Значения показателей загрязнения воды на пяти участках р. Самара:				
	I	II	III	IV	V
2001 год					
- значение коэффициента K_p	12,76	18,93	14,43	18,82	11,74
- степень экологической опасности	опасная				
- уровень экологической опасности	высокий				
2011 год					
- значение коэффициента K_p	11,69	13,3	12,87	15,8	10,94
- степень экологической опасности	опасная				
- уровень экологической опасности	высокий				

Таблица Г.2.1

Результаты исследования уровня экологической опасности шахтной воды угледобывающих предприятий ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» по гидрохимическому индексу загрязнения воды (ИЗВ)

Показатели по годам	Значения ИЗВ и оценка качества воды по шахтам, согласно их порядковым номерам:									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2001 год										
- ИЗВ	10,53	11,33	3,38	5,48	8,64	4,19	3,26	3,3	5,64	3,15
- качество воды	чрезвычайно грязная		загрязненная	грязная	очень грязная	грязная	загрязненная		грязная	загрязненная
- класс опасности	VII		IV	V	VI	V	IV		V	IV
2011 год										
- ИЗВ	4,38	2,89	1,69	4,03	1,89	2,28	1,53	2,11	2,16	1,35
- качество воды	грязная	загрязненная	умеренно загрязненная	грязная	умеренно загрязненная	загрязненная	умеренно загрязненная		загрязненная	умеренно загрязненная
- класс опасности	V	IV	III	V	III	IV	III		IV	III

Таблица Г.2.2

Результаты исследования уровня экологической опасности воды, отобранной по течению р. Самара на территории промышленной зоны Западного Донбасса, по гидрохимическому индексу загрязнения воды (ИЗВ)

Показатели по годам	Значения ИЗВ и оценка качества воды на пяти участках р. Самара:				
	I	II	III	IV	V
2001 год					
- ИЗВ	2,44	3,5	2,99	3,89	2,31
- качество воды	загрязненная				
- класс опасности	IV				
2011 год					
- ИЗВ	2,06	2,36	2,33	2,72	2,01
- качество воды	загрязненная				
- класс опасности	IV				

Таблица Г.3.1

Значения расчетных параметров для определения обобщенной функции желательности (ОФЖ) и оценки качества воды, откачиваемой на поверхность шахтой им. «Героев Космоса» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

Гидрохимический показатель	2001					2011				
	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$
взвешенные вещества	1	10,994	10,994	0,18	6,668E-09	1	2,335	2,335	0,724	0,4701
хлориды	0,25	21,559	5,39	0,093	2,688E-06	0,25	22,482	5,621	0,089	1,228E-06
сульфаты	0,25	0,75	0,188	0,96	1	0,25	0,554	0,139	0,848	1
БПК	1	1,533	1,533	0,915	0,873	1	1,462	1,462	0,932	0,902
сухой остаток	1	11,243	11,243	0,176	3,394E-09	1	10,686	10,686	0,186	1,521E-08
азот аммонийный	0,33	20,962	6,917	0,095	8,606E-08	0,33	0,436	0,144	0,733	1
нитриты	0,5	10,219	5,109	0,194	0,00023	0,5	0,406	0,203	0,697	1
железо	0,33	5,945	1,962	0,327	0,112	0,33	1,046	0,345	0,999	0,9997
нефтепродукты	0,33	2,193	0,724	0,755	0,816	0,33	1,654	0,546	0,886	0,936
марганец	-	-	-	-	-	0,33	1,225	0,404	0,98	0,992
$K = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \beta_i$	-	-	44,059	-	-	-	-	21,885	-	-
$\prod_{i=1}^n (d_i^{\alpha \cdot \beta})$	-	-	-	-	9,533E-35	-	-	-	-	7,345E-15

Таблица Г.3.2

Значения расчетных параметров для определения обобщенной функции желательности (ОФЖ) и оценки качества воды, откачиваемой на поверхность шахтой «Благodatная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

Гидрохимический показатель	2001					2011				
	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$
взвешенные вещества	1	19,659	19,659	0,101	2,927E-20	1	3,275	3,275	0,559	0,149
хлориды	0,25	10,022	2,506	0,198	0,017	0,25	8,52	2,13	0,232	0,044
сульфаты	0,25	0,911	0,228	0,996	1	0,25	0,934	0,234	0,998	1
БПК	0,25	0,87	0,217	0,99	1	1	1,559	1,559	0,909	0,862
сухой остаток	1	5,341	5,341	0,362	0,004	1	4,263	4,263	0,445	0,032
азот аммонийный	0,33	4,808	1,587	0,399	0,234	0,33	0,59	0,195	0,875	1
нитриты	0,5	2,156	1,078	0,763	0,747	0,5	1,375	0,688	0,951	0,966
железо	0,33	30,5	10,065	0,066	1,22E-12	0,33	1,88	0,62	0,829	0,89
нефтепродукты	0,33	2,105	0,695	0,775	0,844	0,33	1,632	0,538	0,891	0,94
марганец	-	-	-	-	-	0,33	2,8	0,924	0,633	0,656
$K = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \beta_i$	-	-	41,374	-	-	-	-	14,425	-	-
$\prod_{i=1}^n (d_i^{\alpha \cdot \beta})$	-	-	-	-	3,92E-37	-	-	-	-	9,51E-05

Таблица Г.3.3

Значения расчетных параметров для определения обобщенной функции желательности (ОФЖ) и оценки качества воды, откачиваемой на поверхность шахтой «Павлоградская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

Гидрохимический по-казатель	2001					2011				
	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$
взвешенные вещества	1	3,977	3,977	0,473	0,051	1	3,215	3,215	0,567	0,162
хлориды	0,25	2,776	0,694	0,638	0,732	0,25	1,387	0,347	0,949	0,982
сульфаты	0,25	0,754	0,188	0,961	1	0,25	0,748	0,187	0,959	1
БПК	0,25	0,359	0,09	0,636	1	1	1,657	1,657	0,885	0,817
сухой остаток	1	1,996	1,996	0,801	0,642	0,25	0,934	0,233	0,998	1
азот аммонийный	0,33	2,623	0,866	0,666	0,703	0,33	0,949	0,313	0,999	1
нитриты	0,5	2	1	0,8	0,8	0,5	0,625	0,313	0,899	1
железо	0,33	8,14	2,686	0,242	0,022	0,33	0,76	0,251	0,963	1
нефтепродукты	0,33	2,404	0,793	0,709	0,762	0,33	1,632	0,538	0,891	0,94
марганец	-	-	-	-	-	0,33	2,2	0,726	0,753	0,814
$K = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \beta_i$	-	-	12,29	-	-	-	-	7,779	-	-
$\prod_{i=1}^n (d_i^{\alpha \cdot \beta})$	-	-	-	-	0,00023	-	-	-	-	0,1

Таблица Г.3.4

Значения расчетных параметров для определения обобщенной функции желательности (ОФЖ) и оценки качества воды, откачиваемой на поверхность шахтой «Западно-Донбасская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

Гидрохимический по-казатель	2001					2011				
	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$
взвешенные вещества	1	8,182	8,182	0,241	8,75E-06	1	2,388	2,388	0,713	0,445
хлориды	0,25	14,703	3,676	0,135	0,001	0,25	19,452	4,863	0,103	1,549E-05
сульфаты	0,25	0,591	0,148	0,876	1	0,25	0,635	0,159	0,905	1
БПК	0,25	0,685	0,171	0,932	1	1	1,154	1,154	0,99	0,988
сухой остаток	1	7,55	7,55	0,26	3,86E-05	1	9,333	9,333	0,212	5,123E-07
азот аммонийный	0,33	7,769	2,564	0,253	0,03	0,33	0,679	0,224	0,93	1
нитриты	0,5	3,038	1,519	0,594	0,453	0,5	0,531	0,266	0,829	1
железо	0,33	0,98	0,323	1	1	0,33	1,06	0,35	0,998	0,999
нефтепродукты	0,33	0,584	0,193	0,871	1	0,33	1,465	0,483	0,931	0,966
марганец	-	-	-	-	-	0,33	1,975	0,652	0,806	0,869
$K = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \beta_i$	-	-	24,325	-	-	-	-	19,871	-	-
$\prod_{i=1}^n (d_i^{\alpha \cdot \beta})$	-	-	-	-	2,911E-15	-	-	-	-	2,93E-12

Таблица Г.3.5

Значения расчетных параметров для определения обобщенной функции желательности (ОФЖ) и оценки качества воды, откачиваемой на поверхность шахтой «Терновская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

Гидрохимический показатель	2001					2011				
	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$
взвешенные вещества	1	26,049	26,049	0,077	8,825E-30	1	2,415	2,415	0,707	0,433
хлориды	0,25	1,339	0,335	0,959	0,986	0,25	1,461	0,365	0,932	0,975
сульфаты	0,25	0,502	0,125	0,802	1	0,25	0,561	0,140	0,853	1
БПК	1	2,087	2,087	0,779	0,594	1	1,887	1,887	0,828	0,7
сухой остаток	0,25	0,774	0,193	0,968	1	0,25	0,875	0,219	0,991	1
азот аммонийный	0,33	10,436	3,444	0,190	0,0033	0,33	0,769	0,254	0,967	1
нитриты	0,5	1,713	0,856	0,871	0,8884	0,5	0,375	0,188	0,658	1
железо	0,33	9,100	3,003	0,217	0,0102	0,33	0,935	0,309	0,998	1
нефтепродукты	0,33	2,807	0,926	0,632	0,654	0,33	1,768	0,583	0,857	0,914
марганец	-	-	-	-	-	0,33	4,000	1,320	0,471	0,370
$K = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \beta_i$	-	-	37,018	-	-	-	-	7,679	-	-
$\prod_{i=1}^n (d_i^{\alpha \cdot \beta})$	-	-	-	-	1,004E-34	-	-	-	-	0,1

Таблица Г.3.6

Значения расчетных параметров для определения обобщенной функции желательности (ОФЖ) и оценки качества воды, откачиваемой на поверхность шахтой «Днепровская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

Гидрохимический показатель	2001					2011				
	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$
взвешенные вещества	1	8,054	8,054	0,245	1,19E-05	1	3,12	3,12	0,581	0,184
хлориды	0,25	3,078	0,769	0,588	0,664	0,25	4,735	1,184	0,404	0,342
сульфаты	0,25	0,812	0,203	0,979	1	0,25	0,935	0,234	0,998	1
БПК	0,25	0,889	0,222	0,993	1	1	1,37	1,37	0,953	0,936
сухой остаток	1	1,793	1,793	0,851	0,749	1	2,496	2,496	0,69	0,397
азот аммонийный	0,33	2,744	0,905	0,643	0,671	0,33	0,59	0,195	0,875	1
нитриты	0,5	2,75	1,375	0,642	0,544	0,5	1,494	0,747	0,925	0,943
железо	0,33	8,7	2,871	0,227	0,014	0,33	1,575	0,52	0,905	0,949
нефтепродукты	0,33	1,702	0,562	0,874	0,927	0,33	1,592	0,525	0,901	0,947
марганец	-	-	-	-	-	0,33	3	0,99	0,6	0,603
$K = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \beta_i$	-	-	16,754	-	-	-	-	11,38	-	-
$\prod_{i=1}^n (d_i^{\alpha \cdot \beta})$	-	-	-	-	2,83E-08	-	-	-	-	0,012

Таблица Г.3.7

Значения расчетных параметров для определения обобщенной функции желательности (ОФЖ) и оценки качества воды, откачиваемой на поверхность шахтой им. «Н.И. Сташкова» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

Гидрохимический по-казатель	2001					2011				
	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$
взвешенные вещества	1	2,99	2,99	0,602	0,219	1	3,425	3,425	0,538	0,12
хлориды	0,25	1,16	0,29	0,989	0,997	0,25	1,743	0,436	0,863	0,938
сульфаты	0,25	0,47	0,118	0,77	1	0,25	0,748	0,187	0,959	1
БПК	1	1,375	1,375	0,951	0,934	1	2,087	2,087	0,779	0,594
сухой остаток	0,25	0,821	0,205	0,981	1	1	1,058	1,058	0,998	0,998
азот аммонийный	0,33	2,372	0,783	0,716	0,77	0,33	1,128	0,372	0,993	0,997
нитриты	0,5	1,9	0,95	0,824	0,832	0,5	1,063	0,531	0,998	0,999
железо	0,33	9,486	3,13	0,209	0,007	0,33	1,6	0,528	0,899	0,945
нефтепродукты	0,33	2,193	0,724	0,755	0,816	0,33	1,719	0,567	0,869	0,924
марганец	-	-	-	-	-	0,33	1,8	0,594	0,849	0,907
$K = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \beta_i$	-	-	10,565	-	-	-	-	9,785	-	-
$\prod_{i=1}^n (d_i^{\alpha \cdot \beta})$	-	-	-	-	0,001	-	-	-	-	0,053

Таблица Г.3.8

Значения расчетных параметров для определения обобщенной функции желательности (ОФЖ) и оценки качества воды, откачиваемой на поверхность шахтой «Самарская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

Гидрохимический показатель	2001					2011				
	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$
взвешенные вещества	1	5,804	5,804	0,335	0,002	1	2,85	2,85	0,625	0,262
хлориды	0,25	3,198	0,799	0,57	0,638	0,25	2,518	0,629	0,686	0,789
сульфаты	0,25	0,685	0,171	0,932	1	0,25	0,641	0,16	0,909	1
БПК	1	1,239	1,239	0,977	0,972	1	1,724	1,724	0,868	0,783
сухой остаток	1	1,929	1,929	0,817	0,677	1	1,425	1,425	0,941	0,916
азот аммонийный	0,33	2,135	0,704	0,768	0,831	0,33	0,891	0,294	0,993	1
нитриты	0,5	0,494	0,247	0,794	1	0,5	1,031	0,516	1	1
железо	0,33	5,58	1,841	0,347	0,143	0,33	0,986	0,325	1	1
нефтепродукты	0,33	1,842	0,608	0,839	0,899	0,33	1,57	0,518	0,906	0,95
марганец	-	-	-	-	-	0,33	4,2	1,386	0,451	0,331
$K = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \beta_i$	-	-	13,343	-	-	-	-	9,828	-	-
$\prod_{i=1}^n (d_i^{\alpha \cdot \beta})$	-	-	-	-	7,79E-05	-	-	-	-	0,047

Таблица Г.3.9

Значения расчетных параметров для определения обобщенной функции желательности (ОФЖ) и оценки качества воды, откачиваемой на поверхность шахтой «Степная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

Гидрохимический показатель	2001					2011				
	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$
взвешенные вещества	1	8,767	8,767	0,225	2,111	1	2,767	2,766	0,639	0,29
хлориды	0,25	1,715	0,429	0,87	0,942	0,25	6,573	1,643	0,297	0,136
сульфаты	0,25	0,785	0,196	0,971	1	0,25	1,096	0,274	0,996	0,999
БПК	1	1,094	1,094	0,996	0,996	1	1,465	1,465	0,931	0,901
сухой остаток	1	1,339	1,339	0,959	0,945	1	3,3623	3,362	0,547	0,131
азот аммонийный	0,33	2,539	0,838	0,682	0,727	0,33	0,955	0,315	0,999	1
нитриты	0,5	1,063	0,531	0,998	0,999	0,5	1,038	0,519	0,999	0,9997
железо	0,33	17,56	5,795	0,114	3,35E-06	0,33	0,82	0,271	0,981	1
нефтепродукты	0,33	2,149	0,709	0,765	0,827	0,33	1,225	0,404	0,98	0,992
марганец	-	-	-	-	-	0,33	1,325	0,437	0,962	0,983
$K = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \beta_i$	-	-	19,697	-	-	-	-	11,457	-	-
$\prod_{i=1}^n (d_i^{\alpha \cdot \beta})$	-	-	-	-	3,76E-12	-	-	-	-	0,005

Таблица Г.3.10

Значения расчетных параметров для определения обобщенной функции желательности (ОФЖ) и оценки качества воды, откачиваемой на поверхность шахтой «Юбилейная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

Гидрохимический показатель	2001					2011				
	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$
взвешенные вещества	1	2,515	2,515	0,687	0,389	1	3,3	3,3	0,555	0,143
хлориды	0,25	0,633	0,158	0,904	1	0,25	0,92	0,23	0,997	1
сульфаты	0,25	0,885	0,221	0,993	1	0,25	1,204	0,301	0,983	0,995
БПК	1	1,196	1,196	0,984	0,981	1	1,804	1,804	0,848	0,743
сухой остаток	0,25	0,812	0,203	0,979	1	0,25	0,785	0,196	0,971	1
азот аммонийный	0,33	1,508	0,498	0,921	0,96	0,33	0,923	0,305	0,997	1
нитриты	0,5	0,788	0,394	0,972	1	0,5	0,375	0,188	0,658	1
железо	0,33	10,5	3,465	0,189	0,003	0,33	1,14	0,376	0,991	0,997
нефтепродукты	0,33	2,567	0,847	0,677	0,718	0,33	1,719	0,567	0,869	0,924
марганец	-	-	-	-	1	0,33	1	0,33	1	1
$K = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \beta_i$	-	-	9,496	-	-	-	-	7,597	-	-
$\prod_{i=1}^n (d_i^{\alpha \cdot \beta})$	-	-	-	-	0,001	-	-	-	-	0,097

Таблица Г.3.11

Значения расчетных параметров для определения обобщенной функции желательности (ОФЖ) и оценки качества воды р. Самара, на входе в промышленную зону Западно-Донбасского региона (точка I)

Гидрохимический показатель	2001					2011				
	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$
взвешенные вещества	1	3,2	3,2	0,569	0,165	1	1,6	1,6	0,899	0,843
хлориды	0,25	1,2	0,3	0,984	0,995	0,25	1,76	0,44	0,859	0,935
сульфаты	0,25	2,08	0,52	0,781	0,879	0,25	2,34	0,585	0,723	0,827
БПК	1	2,2	2,2	0,753	0,536	1	3,72	3,72	0,501	0,077
ХПК	0,25	0,597	0,149	0,88	1	0,25	0,497	0,124	0,797	1
сухой остаток	1	2,7	2,7	0,651	0,314	1	2,9	2,9	0,616	0,246
азот аммонийный	0,33	0,152	0,05	0,298	1	0,33	0,145	0,048	0,283	1
NO ₂	0,5	0,018	0,009	0,036	1	0,5	0,009	0,005	0,018	1
NO ₃	0,33	0,022	0,007	0,044	1	0,33	0,036	0,012	0,071	1
фосфаты	0,33	0,191	0,063	0,369	1	0,33	0,109	0,036	0,215	1
железо	0,33	1,5	0,495	0,923	0,961	0,33	1,2	0,396	0,984	0,994
медь	0,33	0,033	0,011	0,066	1	0,33	0,022	0,007	0,044	1
цинк	0,33	0,005	0,002	0,01	1	0,33	0,008	0,003	0,016	1
хром	0,33	0,024	0,008	0,047	1	0,33	0,009	0,003	0,018	1
марганец	0,33	0,15	0,05	0,293	1	0,33	0,22	0,073	0,42	1
свинец	0,5	0,767	0,383	0,966	1	0,5	0,167	0,083	0,324	1
никель	0,33	0,65	0,215	0,914	1	0,33	0,23	0,077	0,437	1
кобальт	0,5	0,78	0,39	0,97	1	0,5	0,19	0,095	0,367	1
кадмий	0,5	4,9	2,45	0,392	0,101	0,5	1,4	0,7	0,946	0,962
нефтепродукты	0,25	1,7	0,425	0,874	0,944	0,25	1,53	0,383	0,916	0,967
$K = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \beta_i$	-	-	13,627	-	-	-	-	11,287	-	-
$\prod_{i=1}^n (d_i^{\alpha \cdot \beta})$	-	-	-	-	0,0022	-	-	-	-	0,0114

Таблица Г.3.12

Значения расчетных параметров для определения обобщенной функции желательности (ОФЖ) и оценки качества воды р. Самара, после сброса шахтной воды из пруда-накопителя, расположенного в балке Косьминная (точка II)

Гидрохимический показатель	2001					2011				
	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$
взвешенные вещества	1	7,302	7,302	0,269	6,824E-05	1	1,9	1,9	0,824	0,693
хлориды	0,25	2,46	0,615	0,698	0,801	0,25	2,24	0,56	0,745	0,848
сульфаты	0,25	2,1	0,525	0,776	0,876	0,25	2,57	0,643	0,676	0,778
БПК	1	2,23	2,23	0,747	0,521	1	4,2	4,2	0,451	0,035
ХПК	0,25	0,563	0,141	0,855	1	0,25	0,55	0,138	0,845	1
сухой остаток	1	3,3	3,3	0,555	0,143	1	3,3	3,3	0,555	0,143
азот аммонийный	0,33	0,156	0,052	0,305	1	0,33	0,141	0,046	0,276	1
NO ₂	0,5	0,013	0,007	0,027	1	0,5	0,009	0,005	0,018	1
NO ₃	0,33	0,018	0,006	0,036	1	0,33	0,042	0,014	0,084	1
фосфаты	0,33	0,171	0,057	0,333	1	0,33	0,051	0,017	0,103	1
железо	0,33	1,3	0,429	0,967	0,986	0,33	1,44	0,475	0,937	0,97
медь	0,33	0,046	0,015	0,092	1	0,33	0,024	0,008	0,048	1
цинк	0,33	0,01	0,0033	0,02	1	0,33	0,01	0,003	0,02	1
хром	0,33	0,044	0,0144	0,087	1	0,33	0,015	0,005	0,029	1
марганец	0,33	0,14	0,046	0,275	1	0,33	0,24	0,079	0,454	1
свинец	0,5	1,367	0,683	0,953	0,968	0,5	0,233	0,117	0,443	1
никель	0,33	0,62	0,205	0,896	1	0,33	0,26	0,086	0,487	1
кобальт	0,5	0,8	0,4	0,976	1	0,5	0,25	0,125	0,471	1
кадмий	0,5	7	3,5	0,28	0,012	0,5	1,7	0,85	0,874	0,892
нефтепродукты	0,25	2,1	0,525	0,776	0,876	0,25	1,5	0,375	0,923	0,97
$K = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \beta_i$	-	-	20,055	-	-	-	-	12,945	-	-
$\prod_{i=1}^n (d_i^{\alpha \cdot \beta})$	-	-	-	-	3,47E-08	-	-	-	-	0,002

Таблица Г.3.13

Значения расчетных параметров для определения обобщенной функции желательности (ОФЖ) и оценки качества воды р. Самара, до сброса шахтной воды из пруда-накопителя, расположенного в балке Свидовок (точка III)

Гидрохимический по-казатель	2001					2011				
	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$
взвешенные вещества	1	2,73	2,73	0,646	0,303	1	2,2	2,2	0,753	0,536
хлориды	0,25	1,79	0,448	0,852	0,931	0,25	2,3	0,575	0,731	0,835
сульфаты	0,25	2,4	0,6	0,71	0,814	0,25	2,4	0,6	0,71	0,814
БПК	1	1,6	1,6	0,899	0,843	1	3,76	3,76	0,497	0,072
ХПК	0,25	0,617	0,154	0,894	1	0,25	0,523	0,131	0,822	1
сухой остаток	1	3,2	3,2	0,569	0,165	1	3,14	3,14	0,578	0,179
азот аммонийный	0,33	0,18	0,059	0,348	1	0,33	0,137	0,045	0,268	1
NO ₂	0,5	0,013	0,007	0,026	1	0,5	0,018	0,009	0,036	1
NO ₃	0,33	0,027	0,009	0,053	1	0,33	0,051	0,017	0,102	1
фосфаты	0,33	0,097	0,032	0,193	1	0,33	0,074	0,025	0,148	1
железо	0,33	1,6	0,528	0,899	0,945	0,33	1,13	0,373	0,993	0,997
медь	0,33	0,051	0,017	0,102	1	0,33	0,024	0,008	0,048	1
цинк	0,33	0,014	0,005	0,028	1	0,33	0,008	0,003	0,016	1
хром	0,33	0,038	0,013	0,076	1	0,33	0,016	0,005	0,033	1
марганец	0,33	0,25	0,083	0,471	1	0,33	0,26	0,086	0,487	1
свинец	0,5	1,4	0,7	0,946	0,962	0,5	0,267	0,133	0,498	1
никель	0,33	0,62	0,205	0,896	1	0,33	0,28	0,092	0,519	1
кобальт	0,5	0,62	0,31	0,896	1	0,5	0,29	0,145	0,535	1
кадмий	0,5	8,3	4,15	0,238	0,003	0,5	2,4	1,2	0,71	0,663
нефтепродукты	0,25	2,3	0,575	0,731	0,835	0,25	1,33	0,333	0,961	0,987
$K = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \beta_i$	-	-	15,423	-	-	-	-	12,879	-	-
$\prod_{i=1}^n (d_i^{\alpha \cdot \beta})$	-	-	-	-	6,225E-05	-	-	-	-	0,0031

Таблица Г.3.14

Значения расчетных параметров для определения обобщенной функции желательности (ОФЖ) и оценки качества воды р. Самара, после сброса шахтной воды из пруда-накопителя, расположенного в балке Свидовок (точка IV)

Гидрохимический показатель	2001					2011				
	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$
взвешенные вещества	1	3,833	3,833	0,489	0,064	1	2,1	2,1	0,776	0,588
хлориды	0,25	2,67	0,668	0,657	0,755	0,25	3,85	0,963	0,487	0,5
сульфаты	0,25	2,55	0,638	0,68	0,782	0,25	2,66	0,665	0,659	0,758
БПК	1	2,5	2,5	0,69	0,395	1	4,11	4,11	0,459	0,041
ХПК	0,25	0,54	0,135	0,836	1	0,25	0,55	0,138	0,845	1
сухой остаток	1	4,8	4,8	0,399	0,012	1	4,12	4,12	0,458	0,04
азот аммонийный	0,33	0,152	0,05	0,298	1	0,33	0,086	0,028	0,171	1
NO ₂	0,5	0,013	0,007	0,026	1	0,5	0,011	0,006	0,022	1
NO ₃	0,33	0,058	0,019	0,115	1	0,33	0,053	0,018	0,106	1
фосфаты	0,33	0,171	0,057	0,333	1	0,33	0,091	0,03	0,181	1
железо	0,33	2,07	0,683	0,783	0,846	0,33	1,2	0,396	0,984	0,994
медь	0,33	0,044	0,015	0,088	1	0,33	0,023	0,008	0,046	1
цинк	0,33	0,013	0,004	0,026	1	0,33	0,009	0,003	0,018	1
хром	0,33	0,036	0,012	0,073	1	0,33	0,018	0,006	0,036	1
марганец	0,33	0,27	0,089	0,503	1	0,33	0,27	0,089	0,503	1
свинец	0,5	1,133	0,567	0,992	0,996	0,5	0,3	0,15	0,551	1
никель	0,33	0,65	0,215	0,914	1	0,33	0,26	0,086	0,487	1
кобальт	0,5	0,66	0,33	0,92	1	0,5	0,23	0,115	0,437	1
кадмий	0,5	10,3	5,15	0,192	0,0002	0,5	2,2	1,1	0,754	0,732
нефтепродукты	0,25	2,4	0,6	0,71	0,814	0,25	1,48	0,37	0,928	0,973
$K = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \beta_i$	-	-	20,369	-	-	-	-	14,5	-	-
$\prod_{i=1}^n (d_i^{\alpha \cdot \beta})$	-	-	-	-	2,581E-08	-	-	-	-	0,0003

Таблица Г.3.15

Значения расчетных параметров для определения обобщенной функции желательности (ОФЖ) и оценки качества воды р. Самара, на выходе из промышленной зоны Западно-Донбасского региона (точка V)

Гидрохимический показатель	2001					2011				
	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$
взвешенные вещества	1	2,326	2,326	0,726	0,475	1	1,2	1,2	0,984	0,98
хлориды	0,25	1,68	0,42	0,879	0,947	0,25	2,2	0,55	0,753	0,856
сульфаты	0,25	1,5	0,375	0,923	0,97	0,25	1,54	0,385	0,914	0,966
БПК	1	1,9	1,9	0,824	0,693	1	3,58	3,58	0,518	0,095
ХПК	0,25	0,967	0,242	0,999	1	1	1,033	1,033	0,9995	0,9995
сухой остаток	1	2,27	2,27	0,738	0,502	1	2,55	2,55	0,68	0,374
азот аммонийный	0,33	0,051	0,017	0,101	1	0,33	0,129	0,043	0,254	1
NO ₂	0,5	0,015	0,007	0,029	1	0,5	0,026	0,013	0,051	1
NO ₃	0,33	0,029	0,01	0,058	1	0,33	0,033	0,011	0,067	1
фосфаты	0,33	0,18	0,059	0,349	1	0,33	0,16	0,053	0,312	1
железо	0,33	1,4	0,462	0,946	0,975	0,33	1,14	0,372	0,992	0,997
медь	0,33	0,004	0,001	0,008	1	0,33	0,01	0,003	0,02	1
цинк	0,33	0,013	0,004	0,026	1	0,33	0,012	0,004	0,024	1
хром	0,33	0,011	0,004	0,022	1	0,33	0,018	0,006	0,036	1
марганец	0,33	0,47	0,155	0,77	1	0,33	0,43	0,142	0,726	1
свинец	0,5	0,333	0,167	0,6	1	0,5	0,267	0,133	0,498	1
никель	0,33	0,34	0,112	0,61	1	0,33	0,23	0,076	0,437	1
кобальт	0,5	0,27	0,135	0,503	1	0,5	0,18	0,09	0,349	1
кадмий	0,5	5,5	2,75	0,352	0,057	0,5	2,2	1,1	0,753	0,732
нефтепродукты	0,25	1,9	0,475	0,824	0,912	0,25	1,7	0,425	0,874	0,944
$K = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \beta_i$	-	-	11,89	-	-	-	-	11,773	-	-
$\prod_{i=1}^n (d_i^{\alpha \cdot \beta})$	-	-	-	-	0,008	-	-	-	-	0,02

Таблица Г.4.1

Результаты исследования уровня экологической опасности шахтной воды угледобывающих предприятий ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» по величине обобщенной функции желательности (ОФЖ)

Показатели по годам	Значения ОФЖ и оценка качества воды по шахтам, согласно их порядковым номерам:									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2001 год										
- величина ОФЖ	0,169	0,132	0,505	0,253	0,121	0,354	0,508	0,492	0,263	0,473
- качество воды	грязная очень		загрязненная	грязная	очень грязная	грязная		загрязненная	грязная	загрязненная
- класс опасности	V		III	IV	V	IV	III		IV	III
2011 год										
- величина ОФЖ	0,226	0,526	0,743	0,263	0,741	0,678	0,740	0,732	0,625	0,736
- качество воды	грязная	загрязненная	умеренно загрязненная	грязная	умеренно загрязненная			загрязненная	умеренно загрязненная	
- класс опасности	IV	III	II	IV	II			III		

Таблица Г.4.2

Результаты оценки уровня экологической опасности воды, отобранной по течению р. Самара на территории промышленной зоны Западного Донбасса, по величине обобщенной функции желательности (ОФЖ)

Показатели по годам	Значения ОФЖ и оценка качества воды на пяти участках р. Самара:				
	I	II	III	IV	V
2001 год					
- величина ОФЖ	0,639	0,425	0,534	0,424	0,664
- качество воды	умеренно загрязненная	загрязненная			умеренно загрязненная
- класс опасности	II	III			II
2011 год					
- величина ОФЖ	0,673	0,617	0,638	0,566	0,717
- качество воды	умеренно загрязненная			загрязненная	умеренно загрязненная
- класс опасности	II			III	II

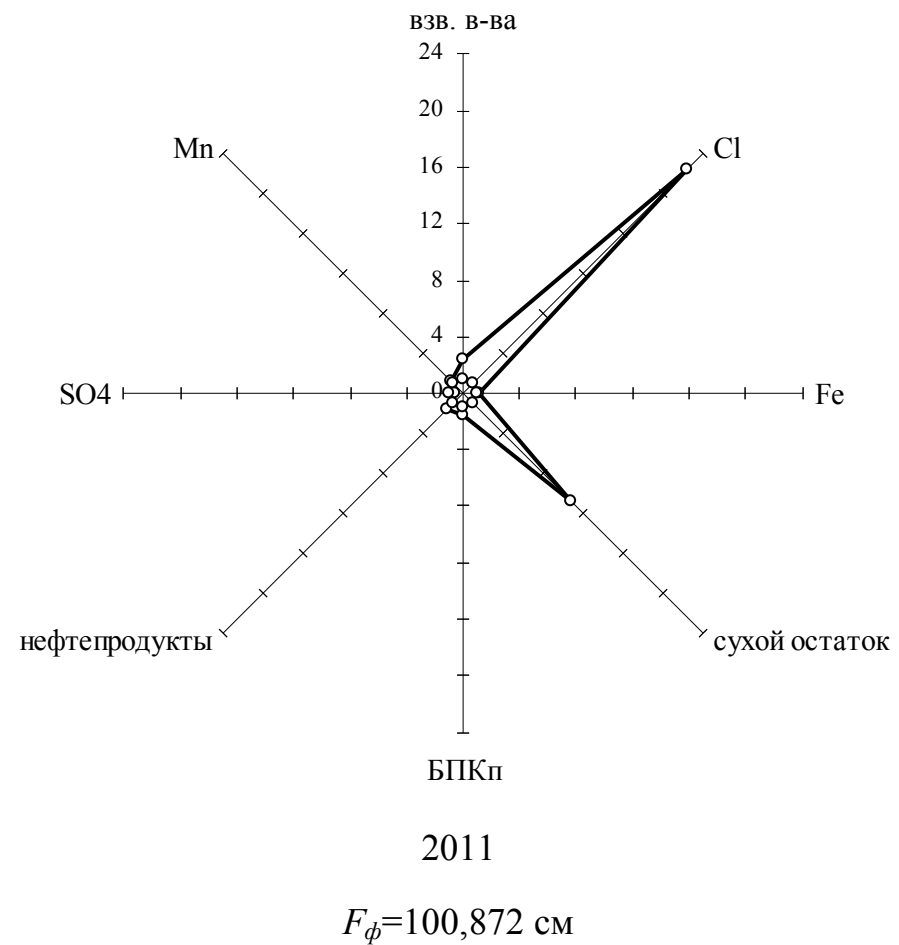
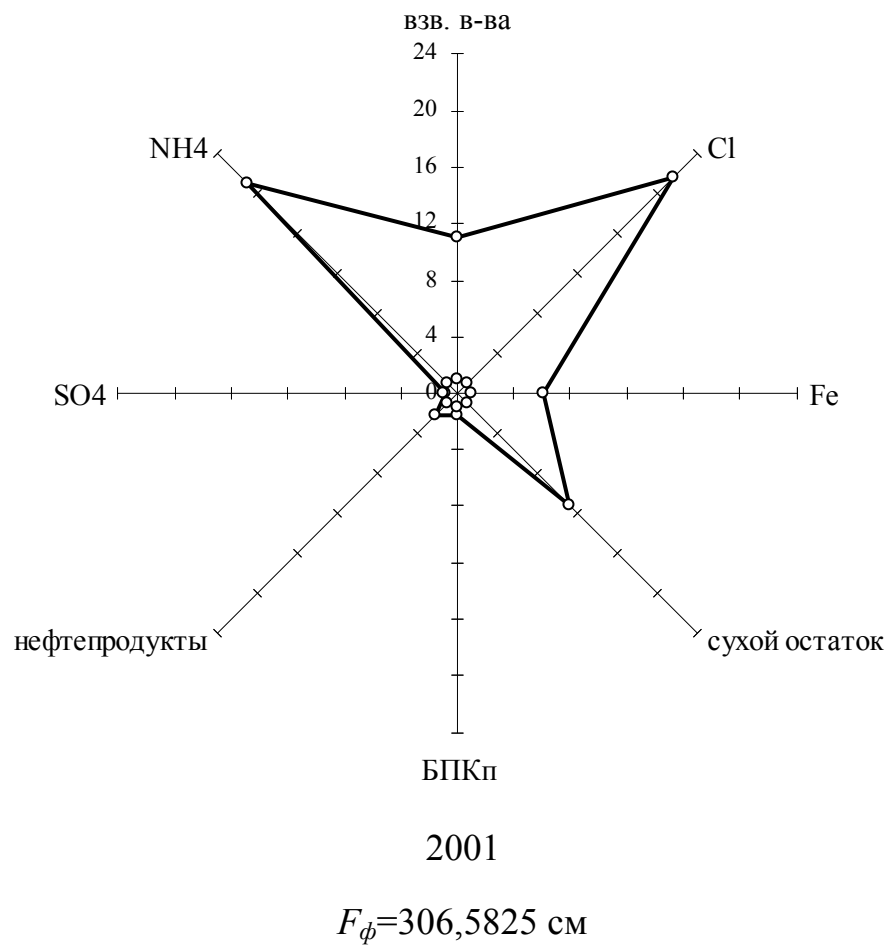


Рис. Г.1. Графические модели комплексной оценки качества воды, откачиваемой на поверхность шахтой им. «Героев Космоса» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

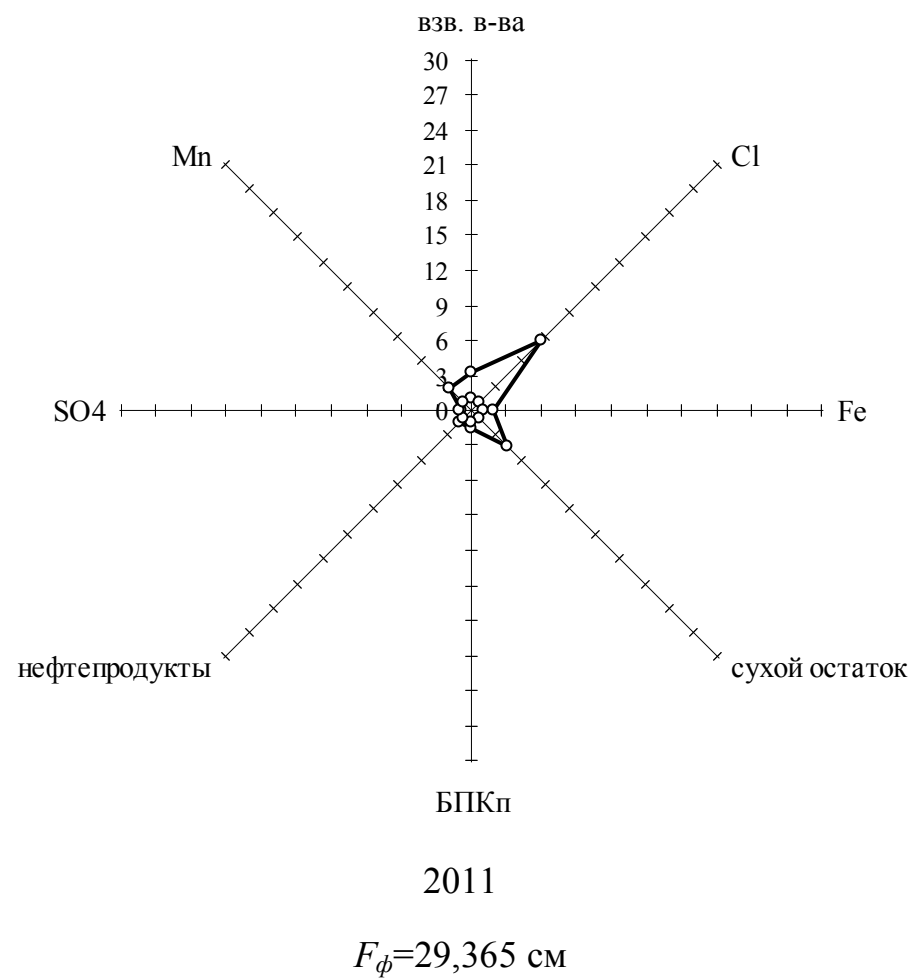
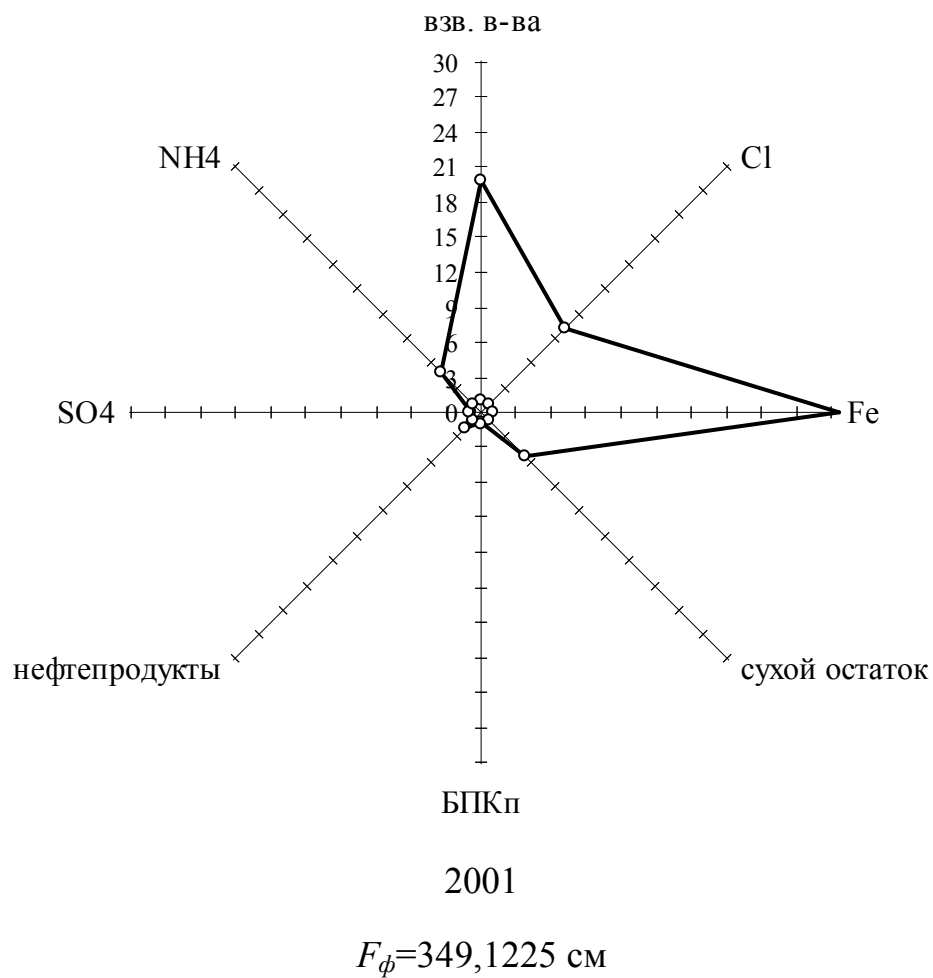


Рис. Г.2. Графические модели комплексной оценки качества воды, откачиваемой на поверхность шахтой «Благодатная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

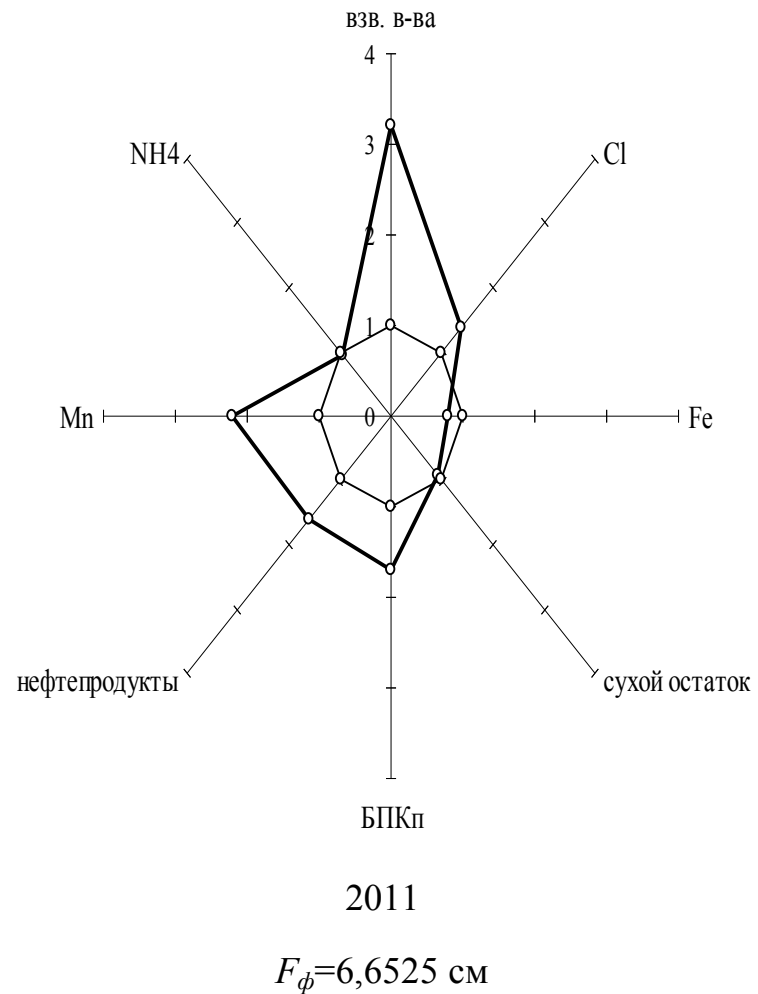
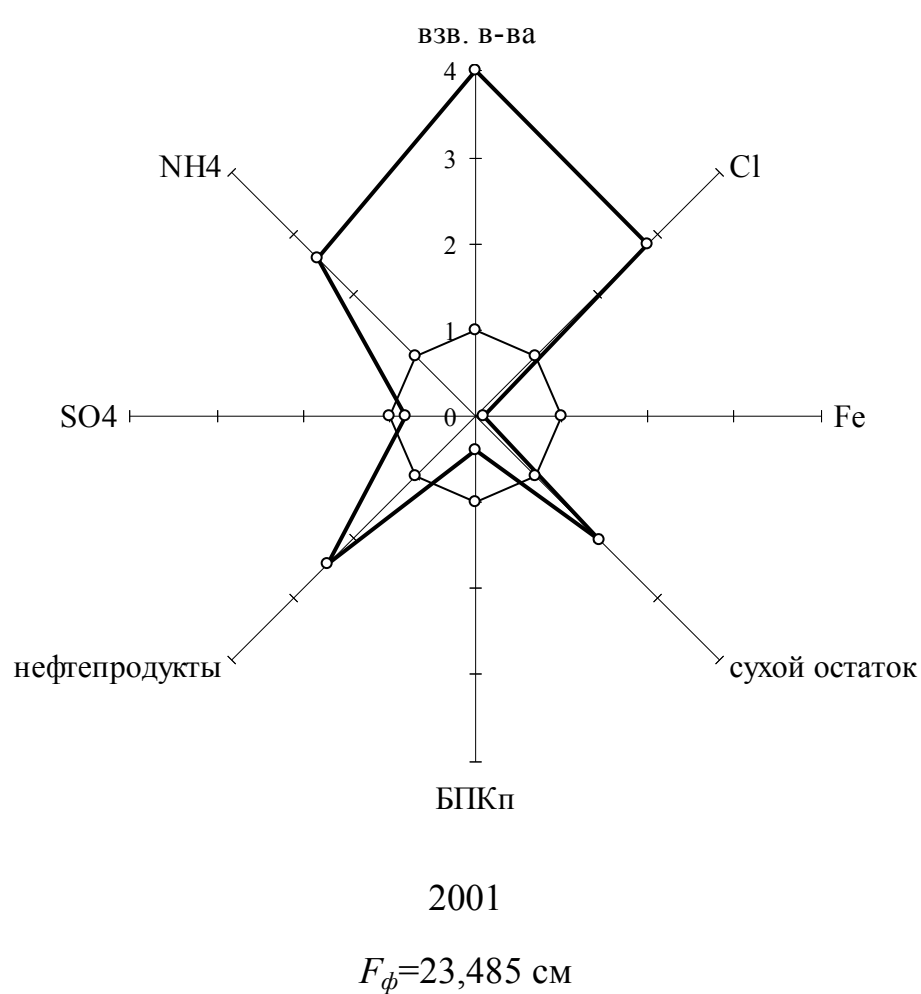


Рис. Г.3. Графические модели комплексной оценки качества воды, откачиваемой на поверхность шахтой «Павлоградская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

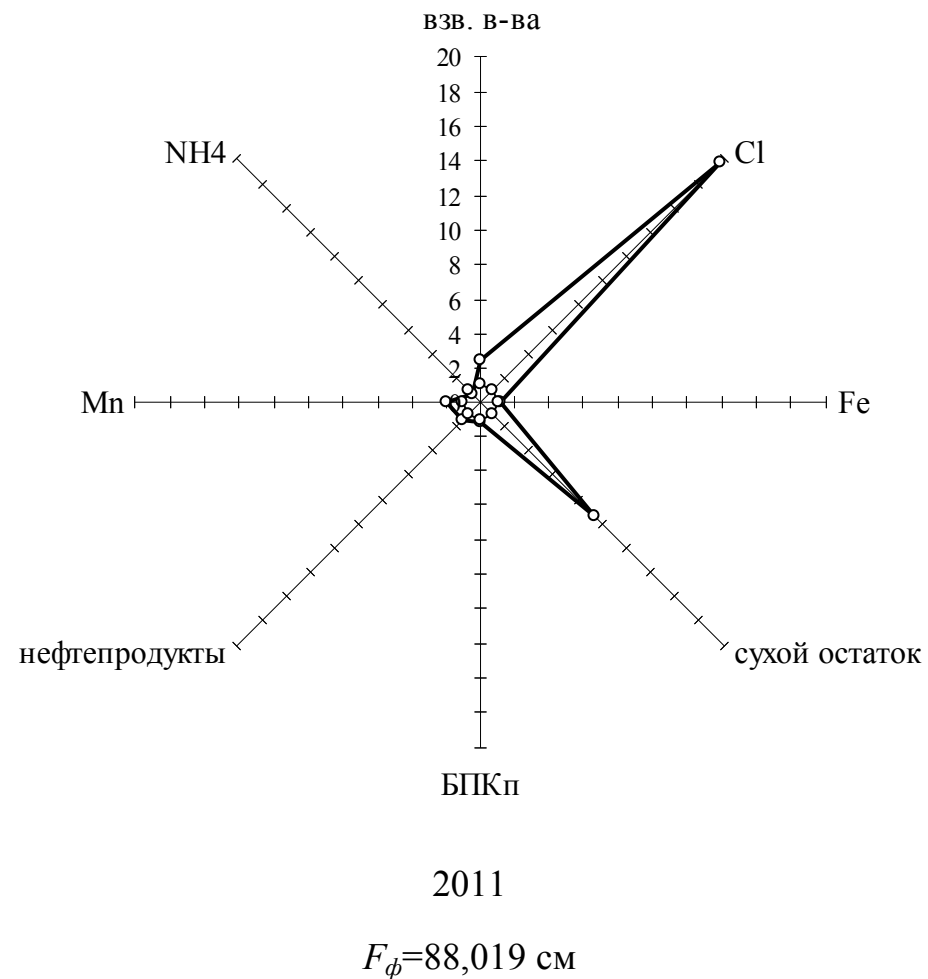
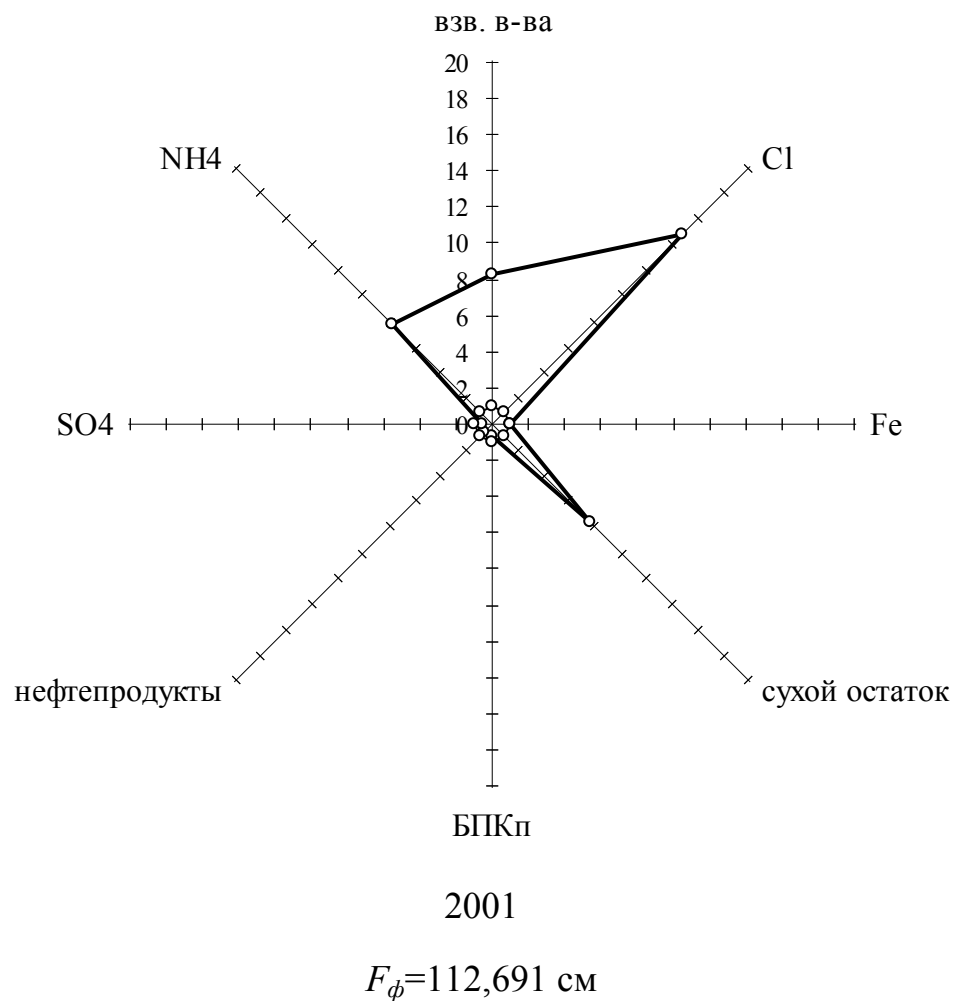


Рис. Г.4. Графические модели комплексной оценки качества воды, откачиваемой на поверхность шахтой «Западно-Донбасская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

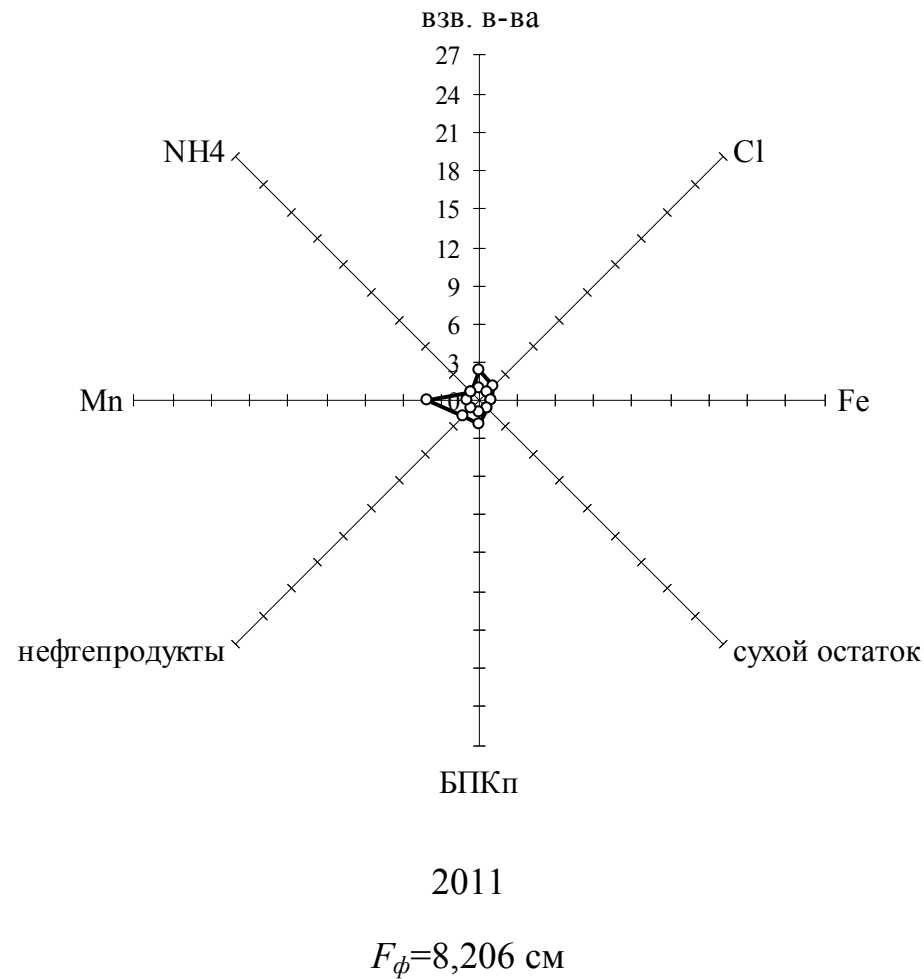
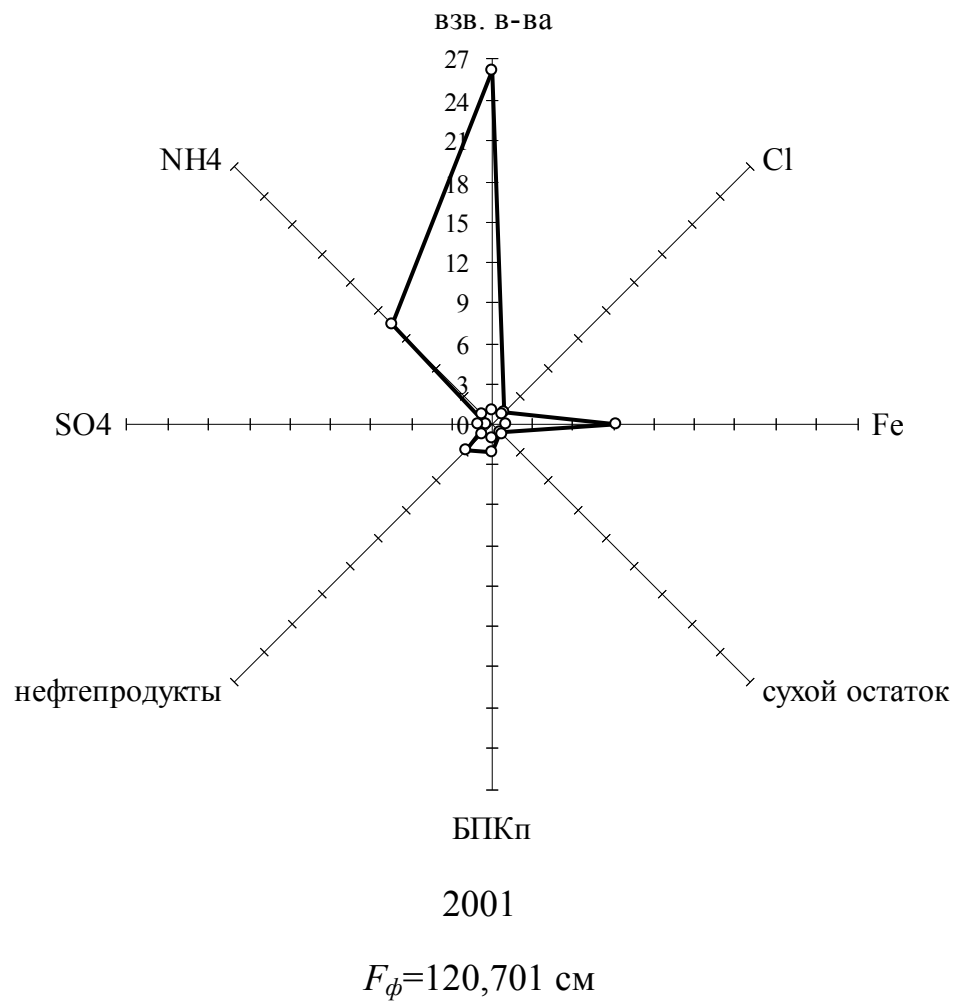


Рис. Г.5. Графические модели комплексной оценки качества воды, откачиваемой на поверхность шахтой «Терновская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

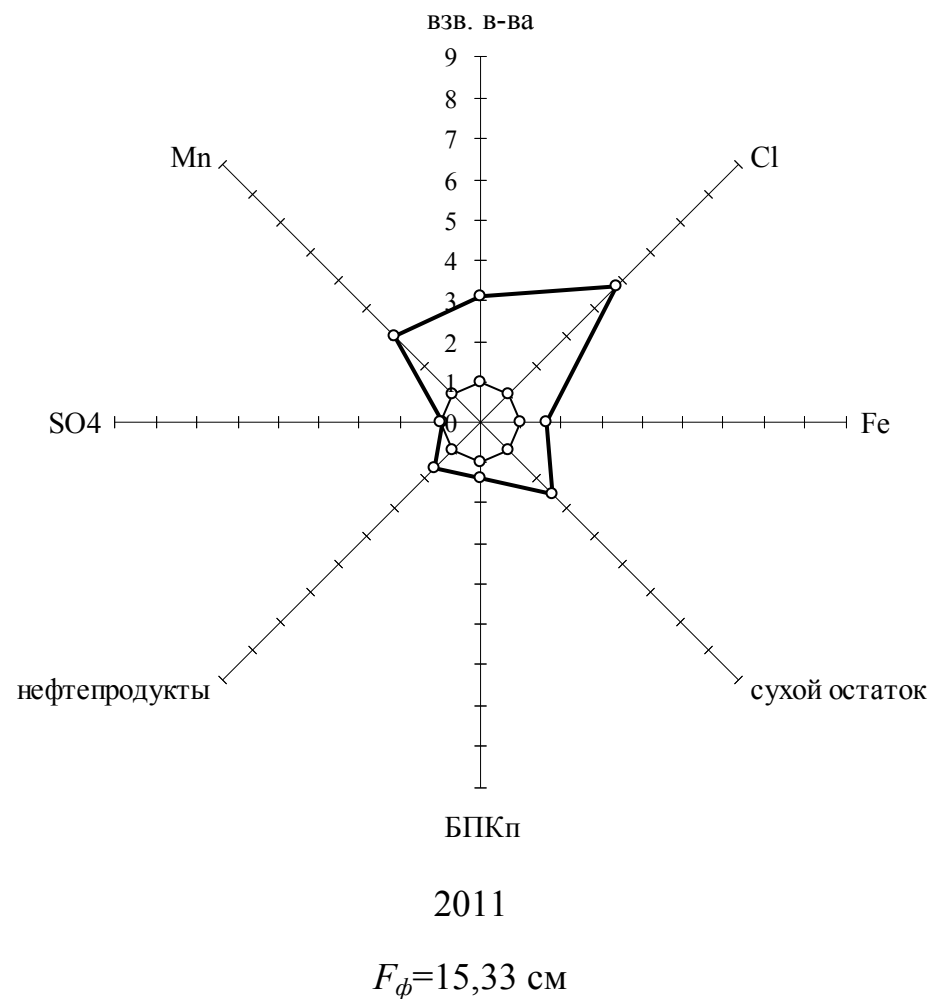
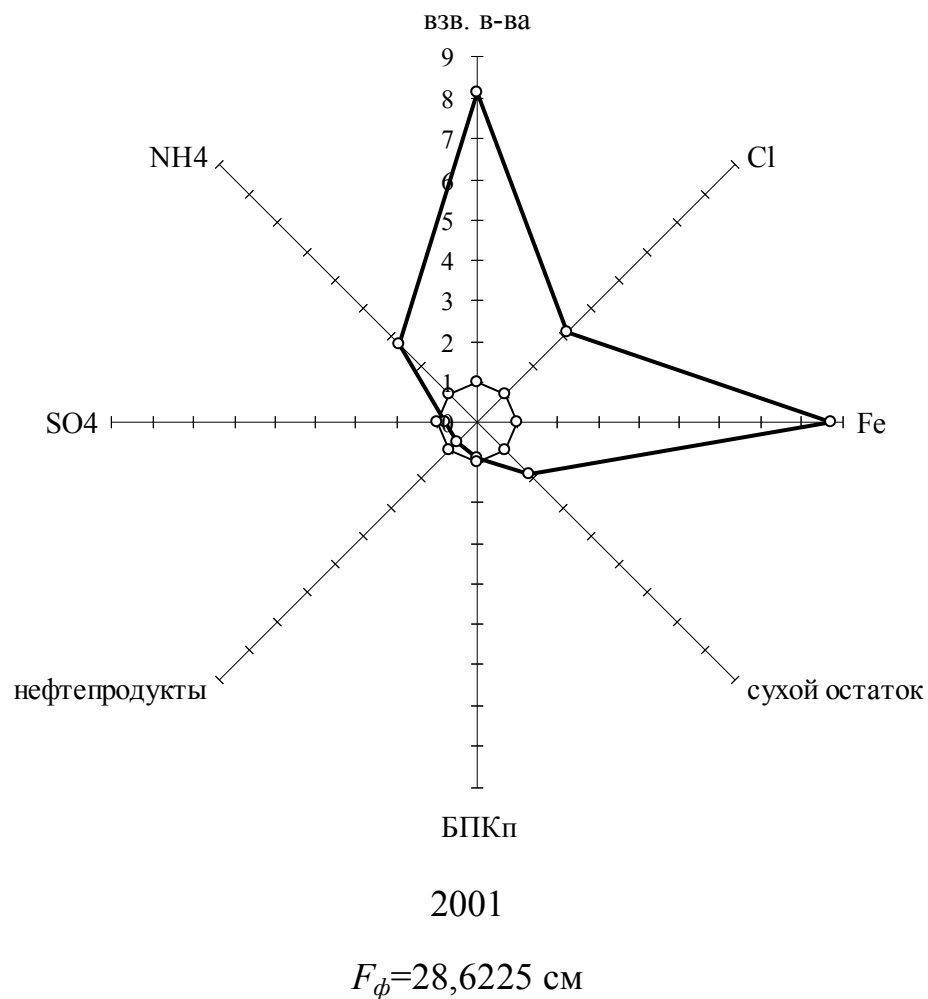


Рис. Г.6. Графические модели комплексной оценки качества воды, откачиваемой на поверхность шахтой «Днепровская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

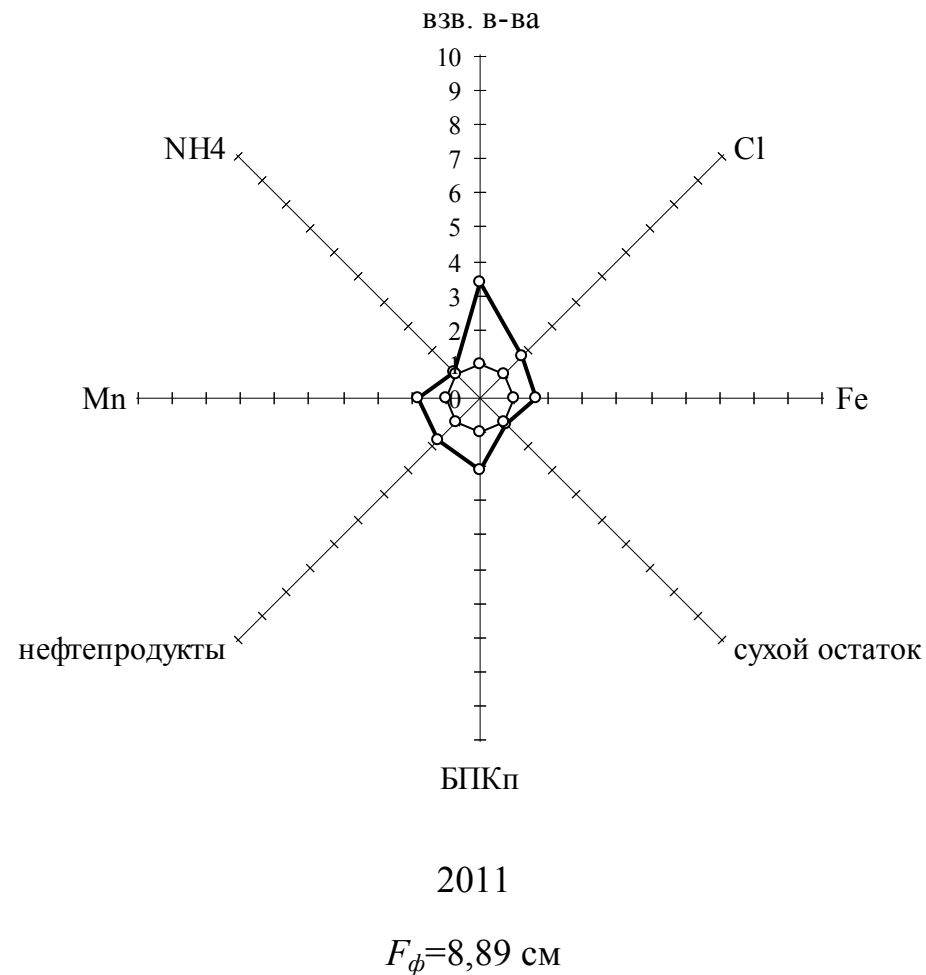
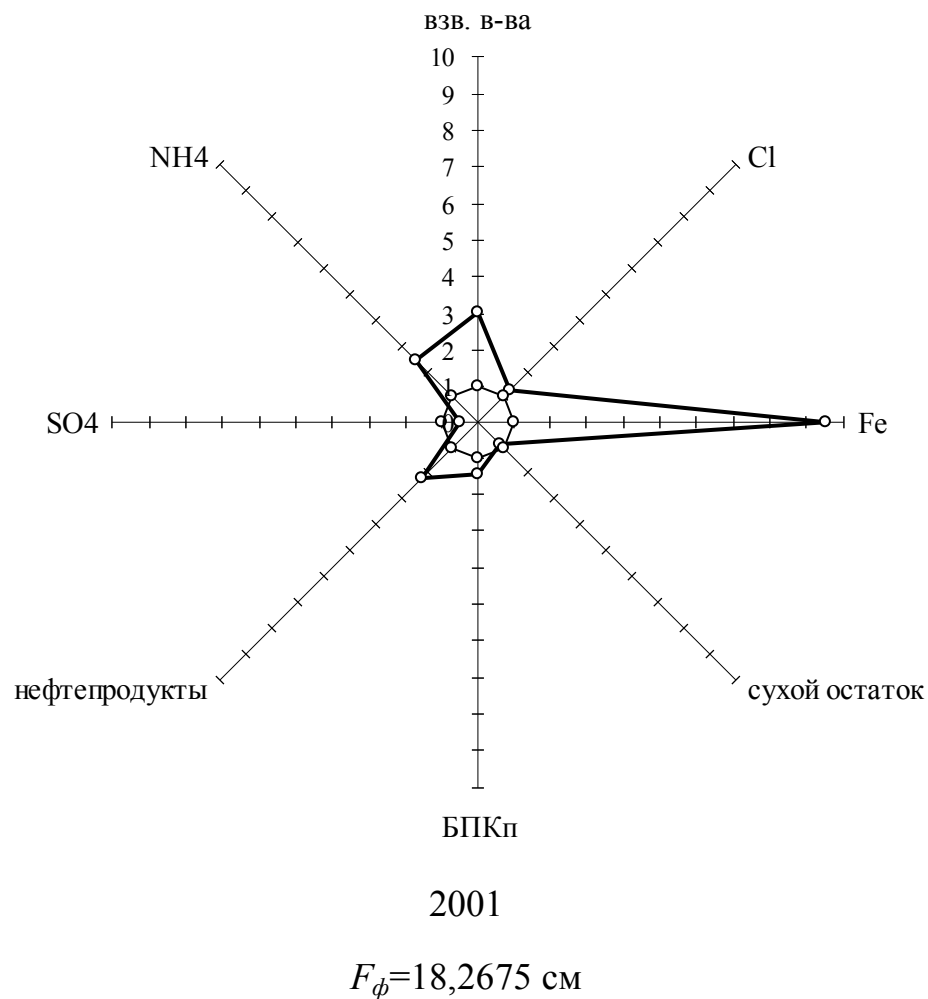


Рис. Г.7. Графические модели комплексной оценки качества воды, откачиваемой на поверхность шахтой им. «Н.И. Сташкова» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

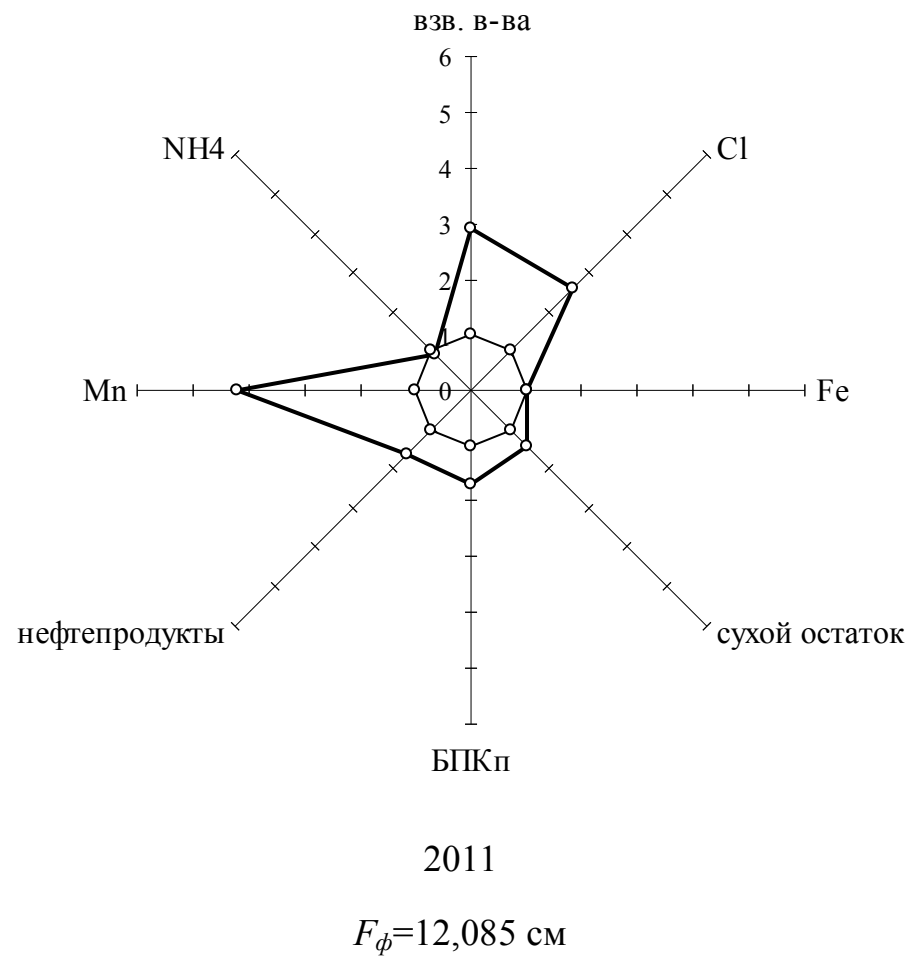
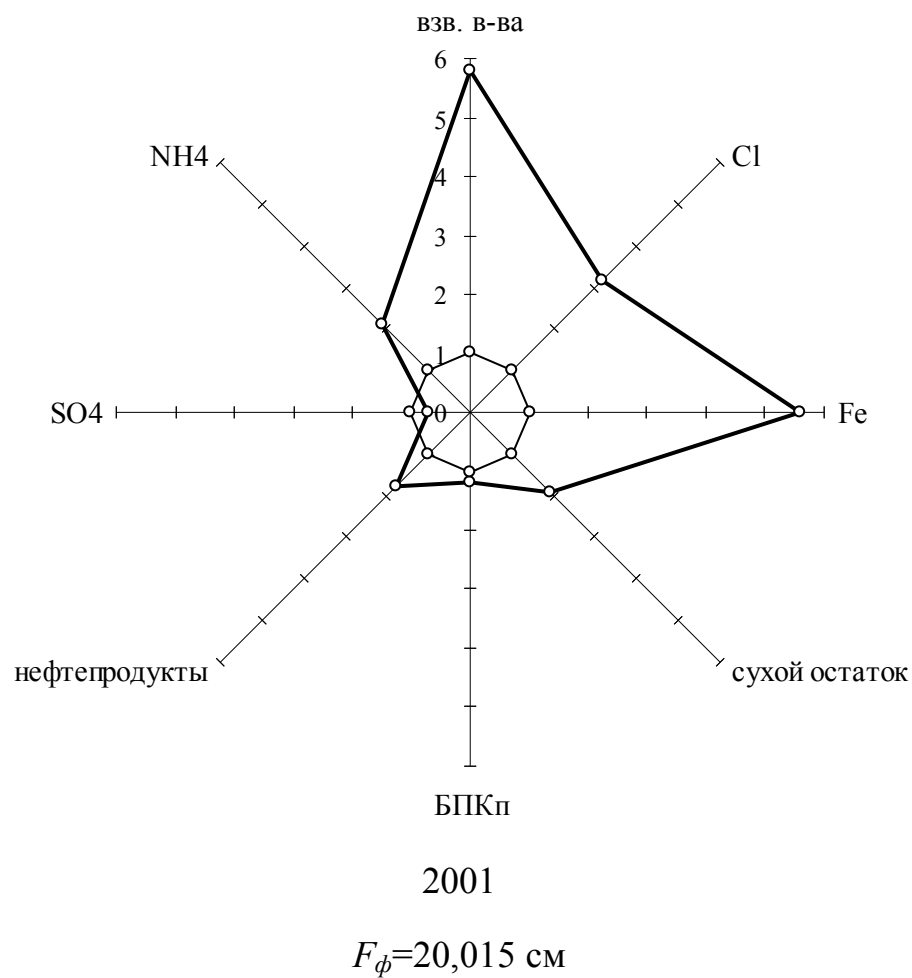


Рис. Г.8. Графические модели комплексной оценки качества воды, откачиваемой на поверхность шахтой «Самарская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

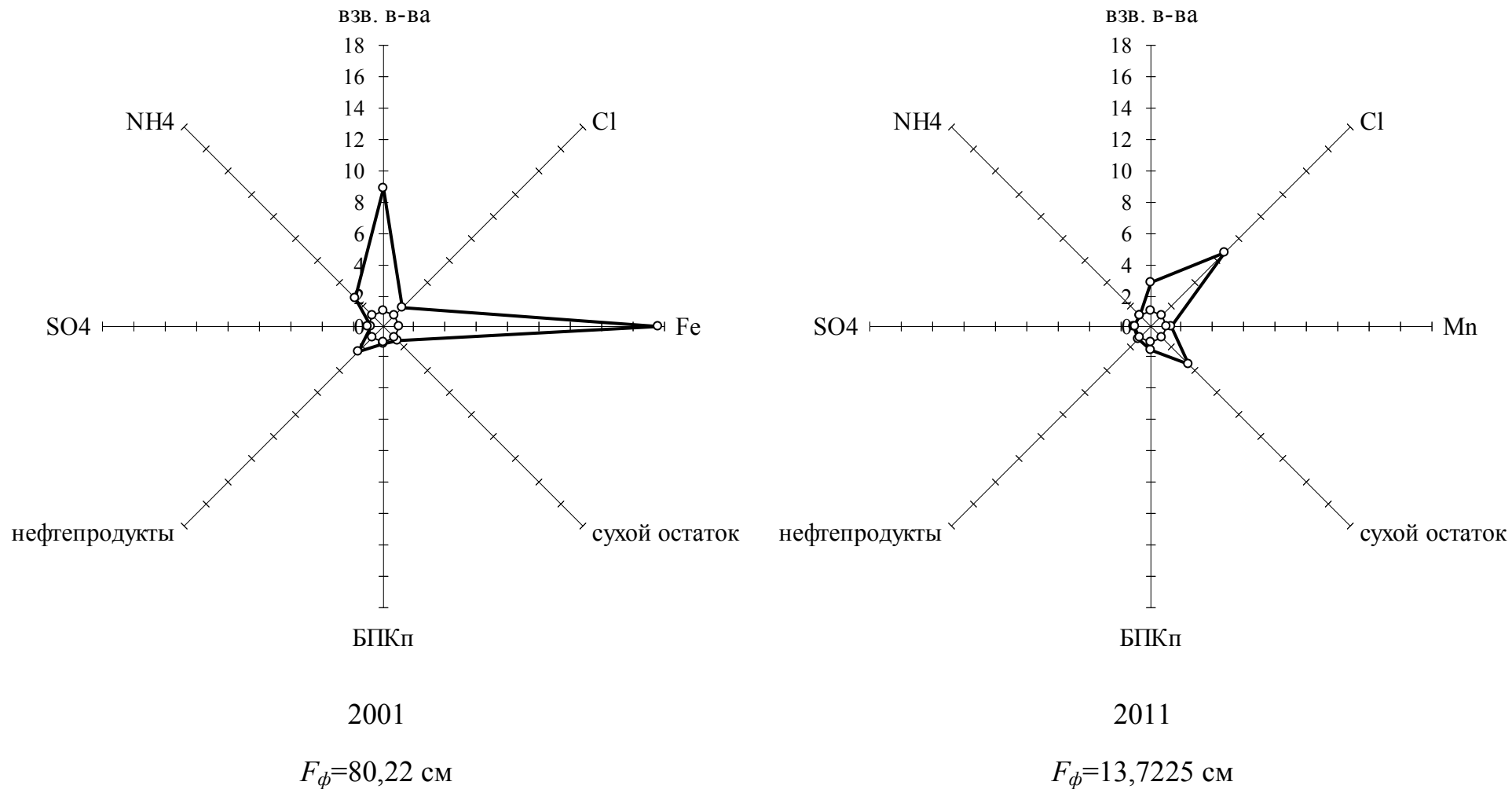


Рис. Г.9. Графические модели комплексной оценки качества воды, откачиваемой на поверхность шахтой «Степная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

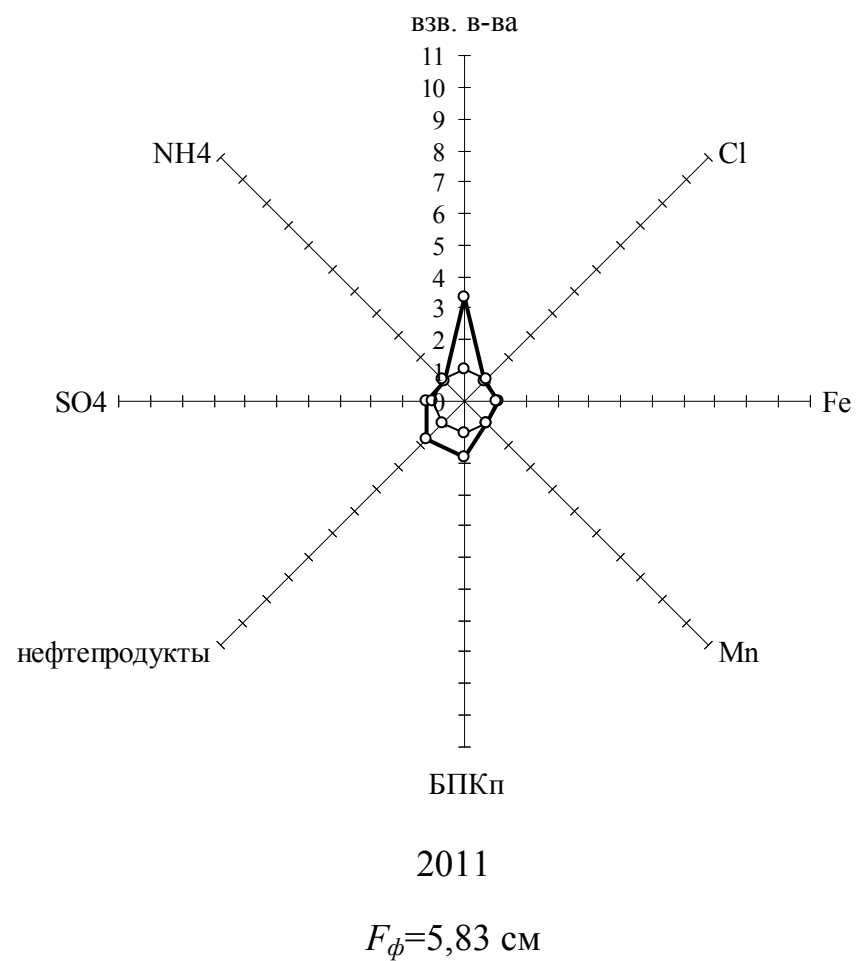
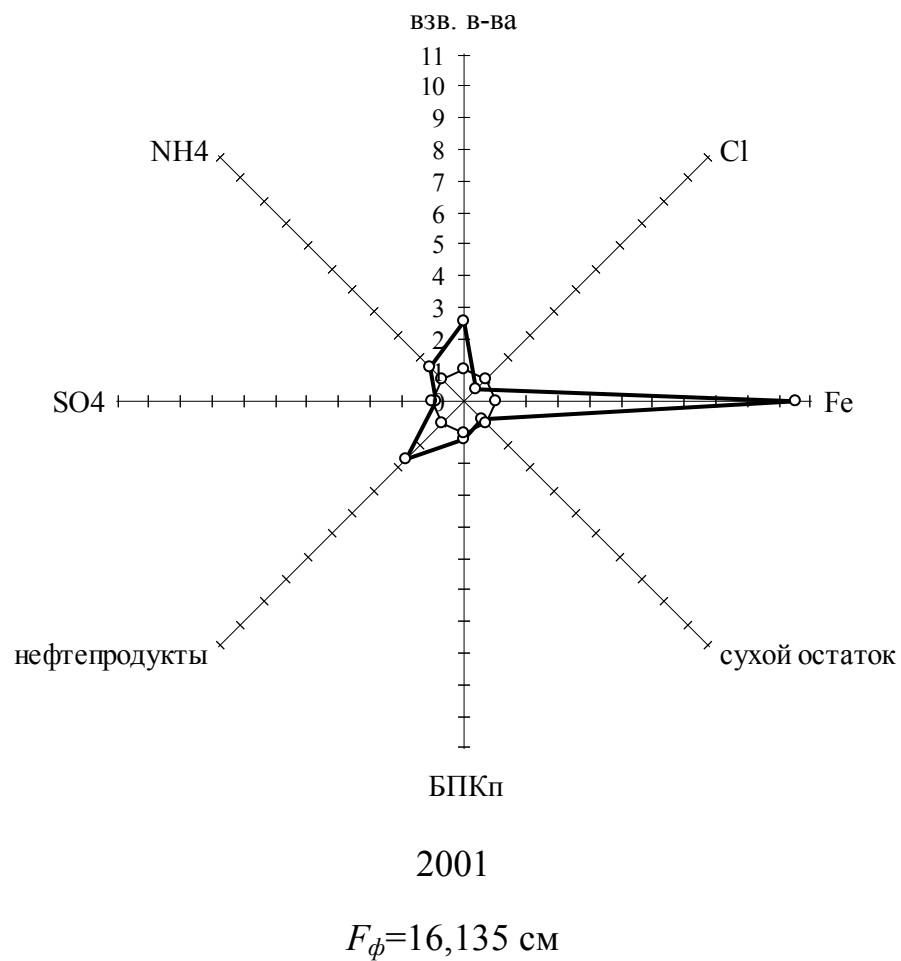


Рис. Г.10. Графические модели комплексной оценки качества воды, откачиваемой на поверхность шахтой «Юбилейная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

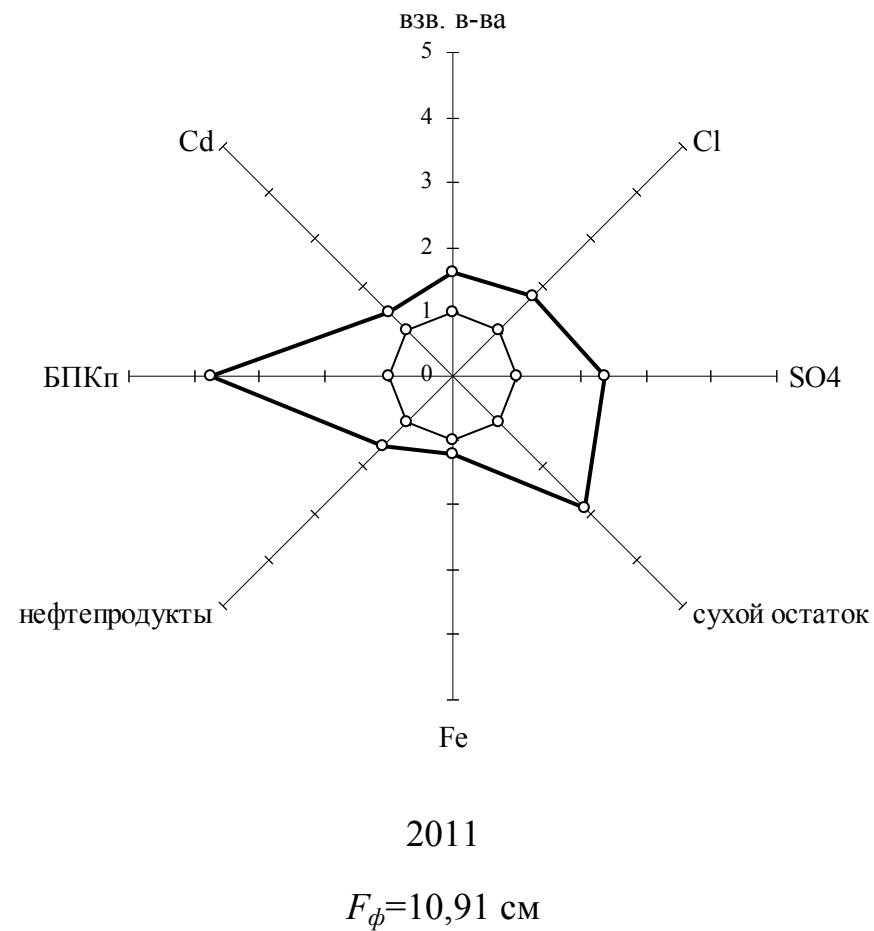
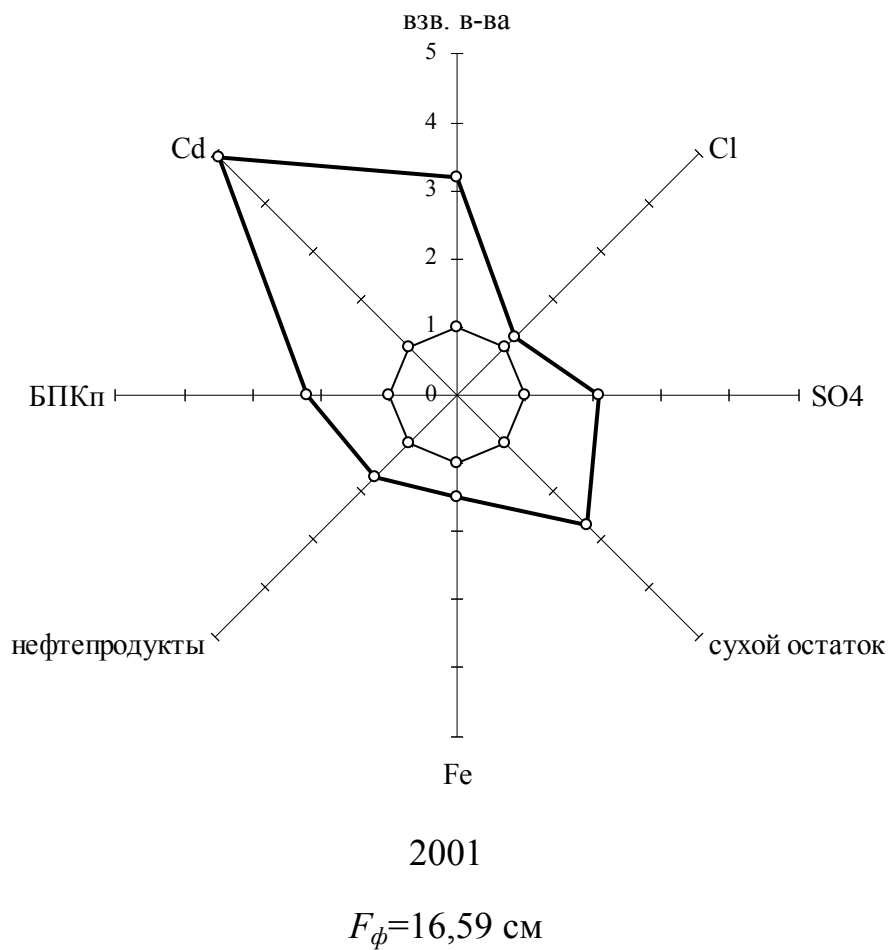


Рис. Г.11. Графические модели комплексной оценки качества воды р. Самара, на входе в промышленную зону Западно-Донбасского региона (точка I)

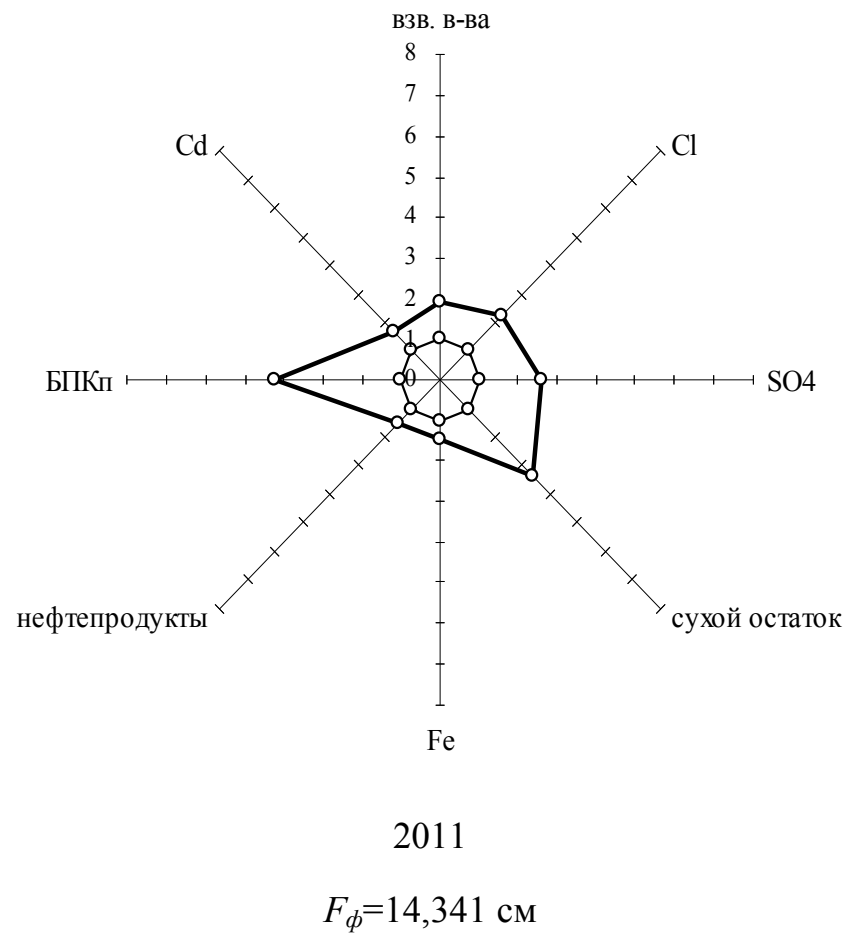
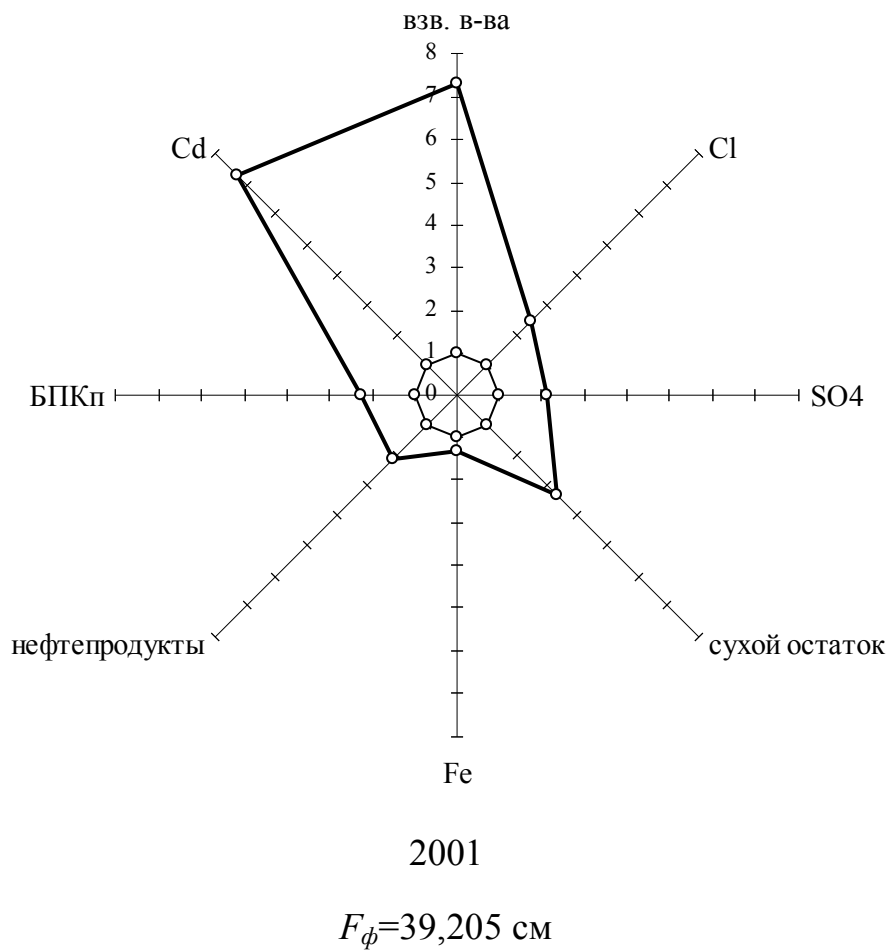


Рис. Г.12. Графические модели комплексной оценки качества воды р. Самара, после сброса загрязненной шахтной воды из пруда-накопителя, расположенного в балке Косьминная (точка II)

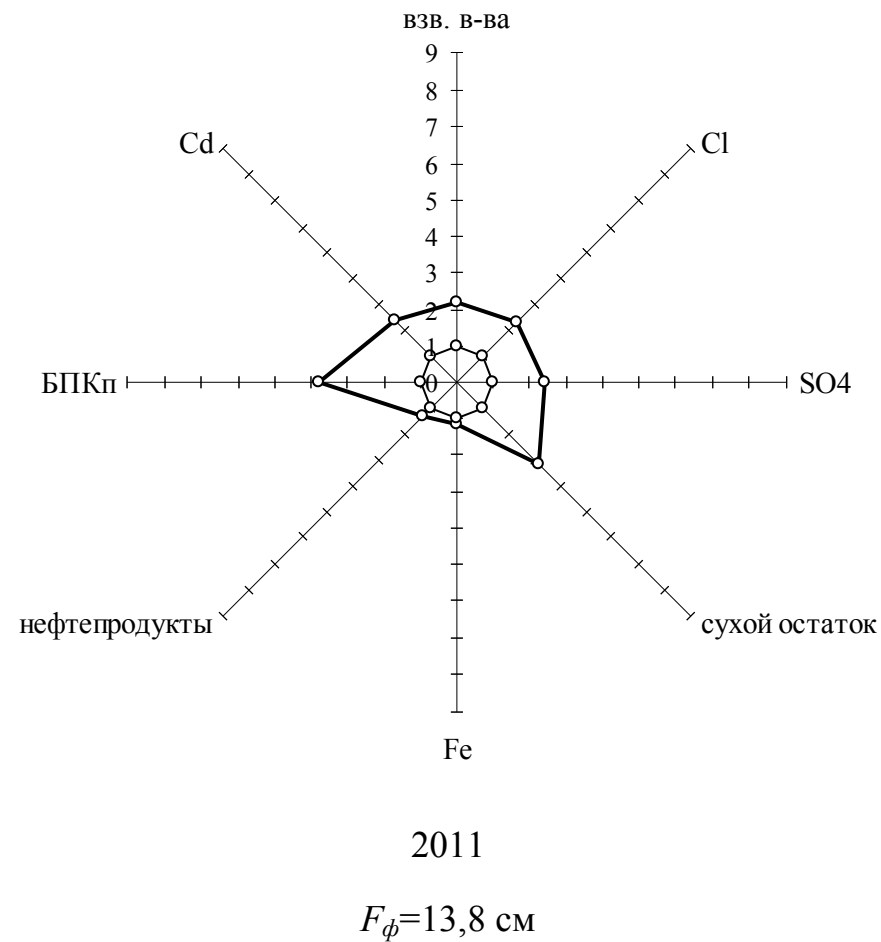
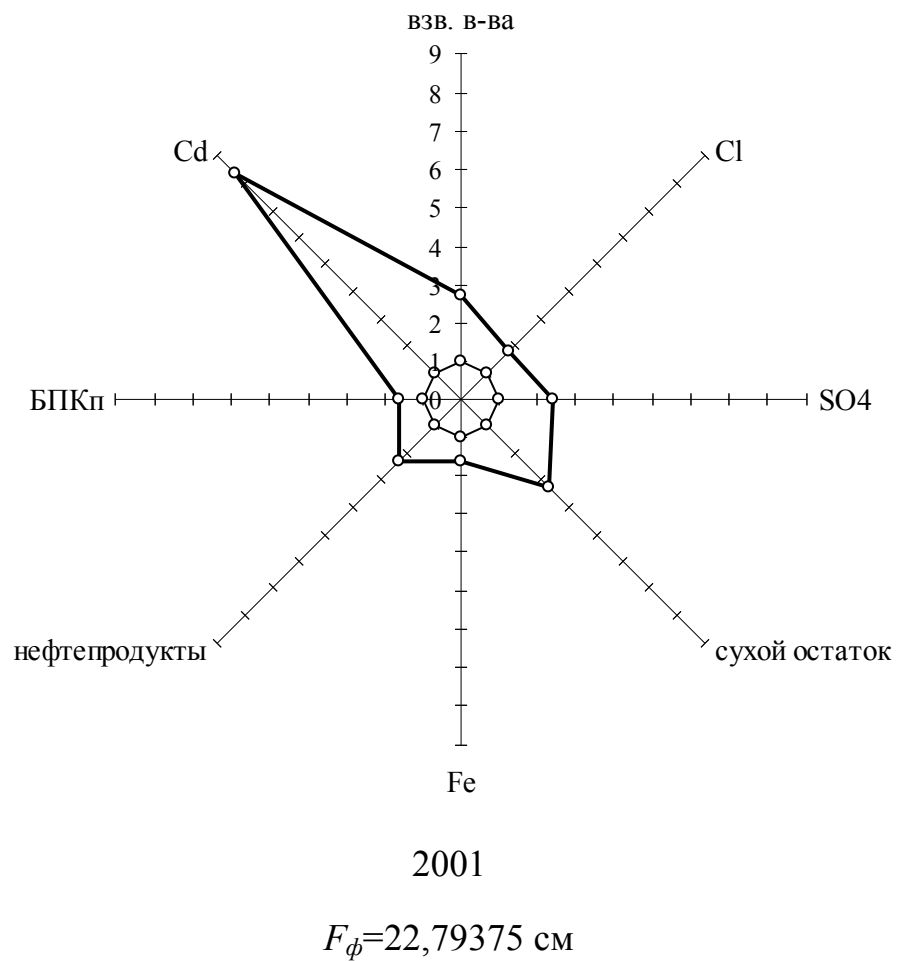


Рис. Г.13. Графические модели комплексной оценки качества воды р. Самара, до сброса загрязненной шахтной воды из пруда-накопителя, расположенного в балке Свидовок (точка III)

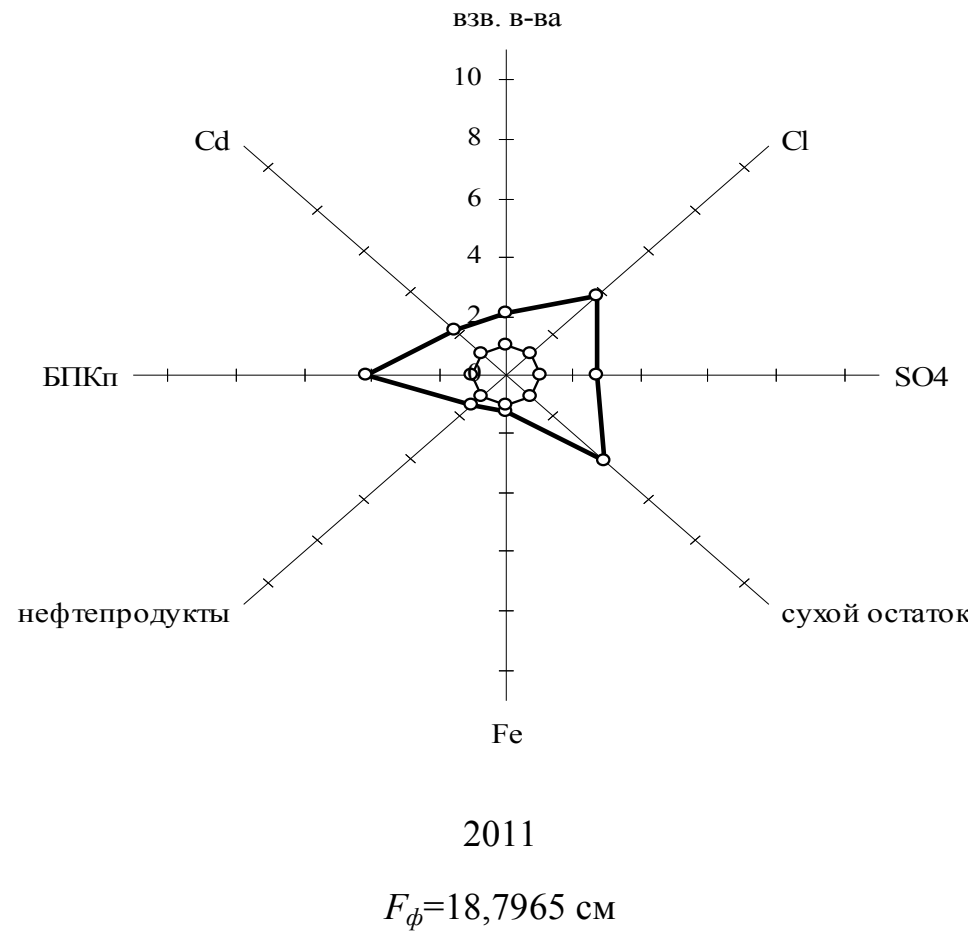
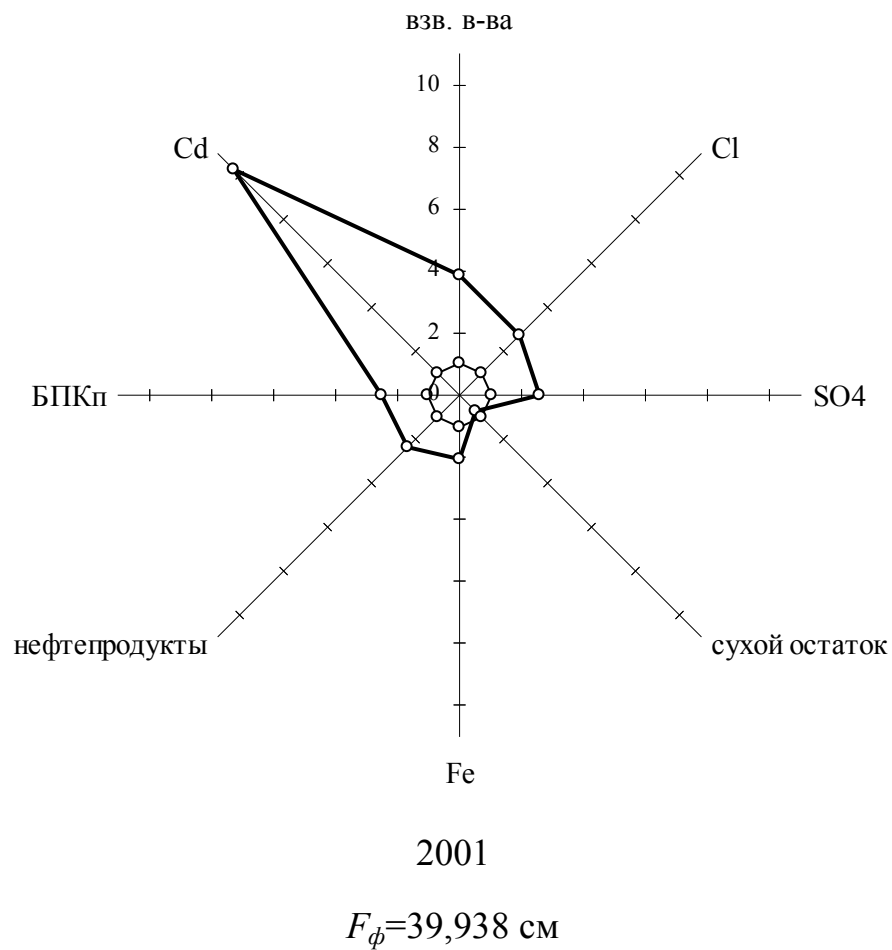


Рис. Г.14. Графические модели комплексной оценки качества воды р. Самара, после сброса загрязненной шахтной воды из пруда-накопителя, расположенного в балке Свидовок (точка IV)

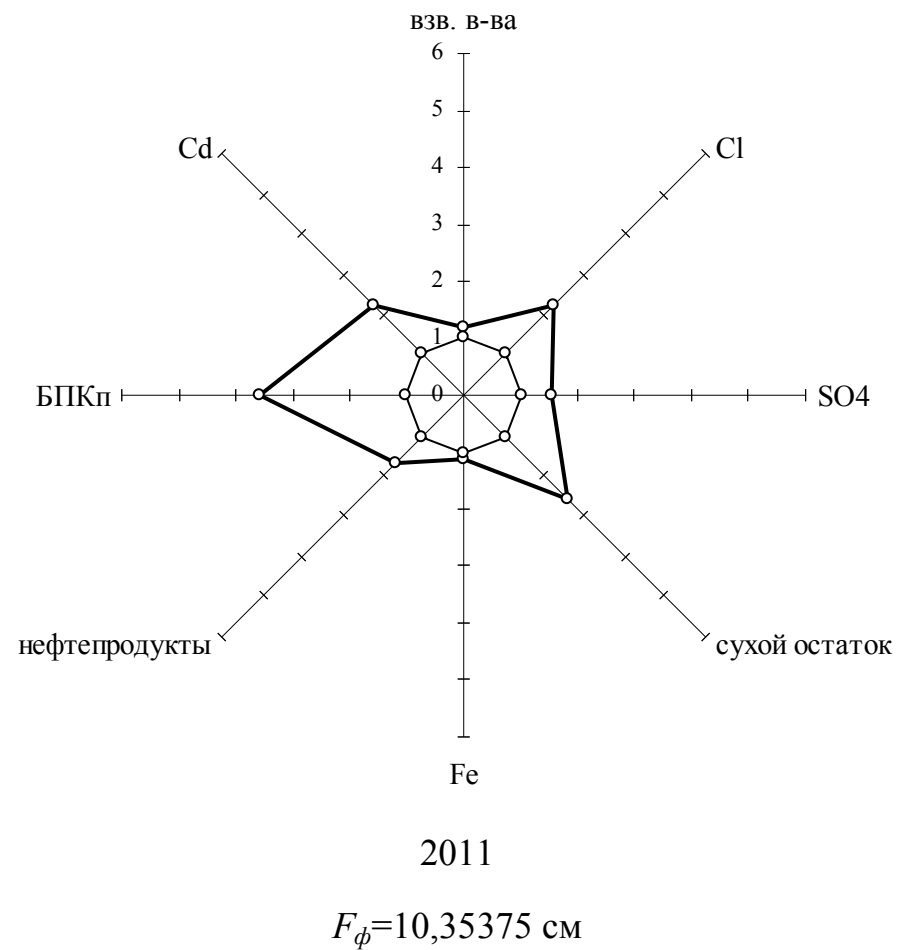
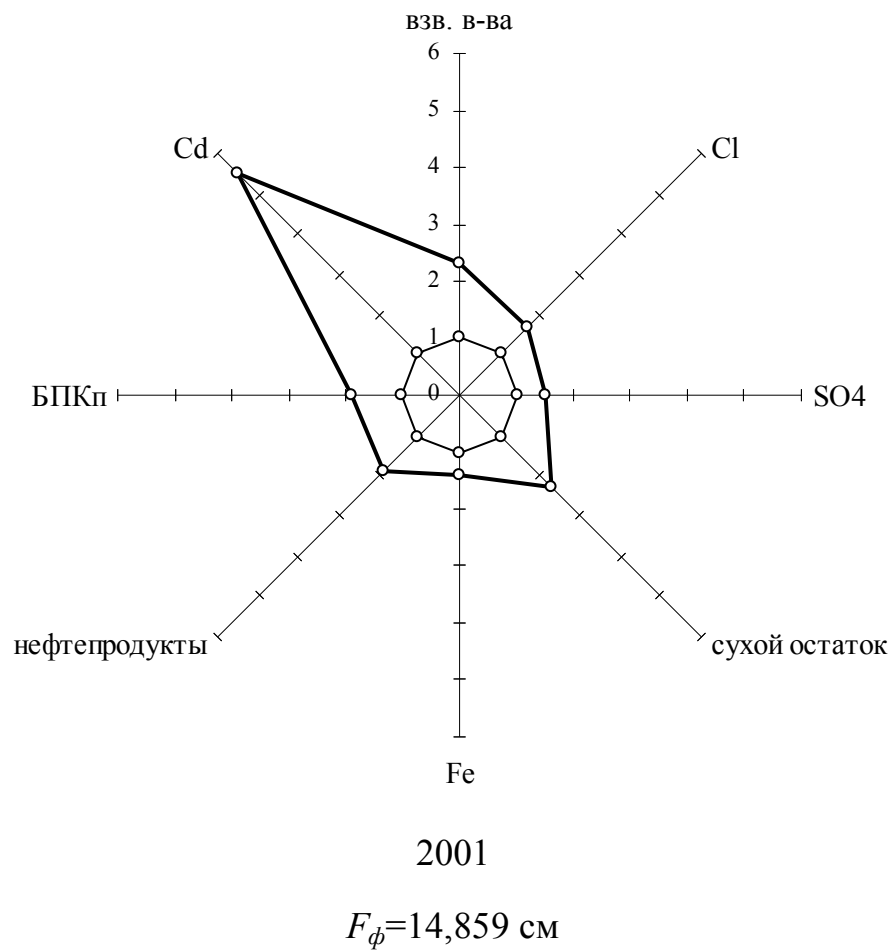


Рис. Г.15. Графические модели комплексной оценки качества воды р. Самара, на выходе из промышленной зоны Западно-Донбасского региона (точка V)

Таблица Г.5.1

Результаты исследования уровня экологической опасности шахтной воды угледобывающих предприятий ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» по комплексному экологическому коэффициенту

Показатели по годам	Значения $K_{\text{ЭКВ}}$ и оценка уровня экологической опасности воды по шахтам, согласно их порядковым номерам:									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2001 год										
- значение коэффициента $K_{\text{ЭКВ}}$	97,64	111,2	7,48	35,9	38,44	9,12	5,82	6,4	25,55	5,14
- уровень экологической опасности воды	очень высокий									
2011 год										
- значение коэффициента $K_{\text{ЭКВ}}$	32,13	9,35	2,12	28,03	2,6	4,88	2,83	3,85	4,37	1,86
- уровень экологической опасности воды	ОЧЕНЬ ВЫСОКИЙ		ВЫСОКИЙ	ОЧЕНЬ ВЫСОКИЙ	ВЫСОКИЙ		ОЧЕНЬ ВЫСОКИЙ			ВЫСОКИЙ

Таблица Г.5.2

Результаты исследования уровня экологической опасности воды, отобранной по течению р. Самара на территории промышленной зоны Западного Донбасса, по комплексному экологическому коэффициенту

Показатели по годам	Значения $K_{\text{ЭКВ}}$ и оценка качества воды на пяти участках р. Самара:				
	1	2	3	4	5
2001 год					
- значение коэффициента $K_{\text{ЭКВ}}$	5,28	12,49	7,26	12,72	4,73
- уровень экологической опасности воды	очень высокий				
2011 год					
- значение коэффициента $K_{\text{ЭКВ}}$	3,48	4,57	4,4	5,99	3,3
- уровень экологической опасности воды	очень высокий				

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ РАЗРАБОТАННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ

Таблица Д.1

Фактическое количество материала (железобетонных и металлических конструкций), необходимое для строительства отстойников

Параметры	Базовый вариант (традиционный горизонтальный отстойник)	Предлагаемый вариант (горизонтальный отстойник усовершенствованной конструкции)
Фактическое количество железобетонных конструкций для строительства отстойника		
Длина отстойника, м	36	13
Ширина отстойника, м	18	- начальная – 10 - конечная – 6
Высота отстойника, м	2,6	5,4
Толщина стенок отстойника, м	0,3	0,3
Объем короткой боковой стенки отстойника, м ³	$(18 \cdot 2,6 \cdot 0,3) \cdot 2 = 28,08$	- начальной – $10 \cdot 5,4 \cdot 0,3 = 16,2$ - конечной – $6 \cdot 5,4 \cdot 0,3 = 9,72$
Объем длинной боковой стенки отстойника, м ³	$(36 \cdot 2,6 \cdot 0,3) \cdot 2 = 56,16$	$\left(\frac{13 \cdot 5,4}{2} \cdot 0,3\right) \cdot 2 = 21,06$
Объем дна отстойника, м ³	$(36 \cdot 18 \cdot 0,3) = 194,4$	$\left(\frac{6 + 10}{2} \cdot 13 \cdot 0,3\right) = 31,2$
Водоподающий лоток:		
- длина, м		10
- ширина, м		2
- высота, м	-	2
- толщина, м		0,3
- объем, м ³		$(10 \cdot 2 \cdot 0,3) + (2 \cdot 2 \cdot 0,3) \cdot 2 = 8,4$
Водосливной лоток:		
- длина, м		6
- ширина, м		2
- высота, м	-	2
- толщина, м		0,3
- объем, м ³		$(6 \cdot 2 \cdot 0,3) \cdot 2 + (2 \cdot 2 \cdot 0,3) \cdot 2 = 9,6$
Общий объем, м³	278,64 ≈ 280	96,18 ≈ 100

продолжение табл. Д.1

Фактическое количество металлических конструкций для установки перегородок		
Площадь сечения I перегородки, м ²		$S_1 = h_1 \cdot b_1 = 1,25 \cdot 9,1 = 11,375$
Площадь сечения II перегородки, м ²		$S_2 = h_2 \cdot b_2 = 2,5 \cdot 8,2 = 20,5$
Площадь сечения III перегородки, м ²	-	$S_3 = h_3 \cdot b_3 = 3,74 \cdot 7,23 = 27,04$
Площадь сечения решетки на дне водоподающего лотка, м ²		$S_{\text{решетка}} = h_{\text{решетка}} \cdot b_{\text{решетка}} =$ $= 10 \cdot 2 = 20$
Общая площадь, м²	-	78,915 ≈ 80
Толщина листа металла t , м	-	0,03
Плотность стали ρ , т/м ²	-	7,85
Перевод в единицы веса, тонны	-	$S_{\text{общая}} \cdot t \cdot \rho = 80 \cdot 0,03 \cdot 7,85 =$ =18,84 ≈ 19

Таблица Д.2

Ведомость ресурсов к сводному сметному расчету стоимости железобетонных конструкций отстойников

Наименование ресурса	Норматив в расчете на $V=100 \text{ м}^3$ железобетона в деле	Ориентировочная стоимость за единицу ресурса, грн.	Значение с учетом фактического количества железобетона в деле для строительства отстойника:			
			традиционного горизонтального (при $V=280 \text{ м}^3$)		предлагаемого (при $V=100 \text{ м}^3$)	
			по факту	стоимость, грн.	по факту	стоимость, грн.
Материалы						
Гвозди строительные с плоской головкой 1,6x50 мм, тонны	0,1036	8000,00	0,2901	2321	0,1036	829
Известь строительная негашеная комовая, сорт 1, тонны	0,147	800,00	0,4118	330	0,147	118
Катанка горячекатаная в мотках, диаметр 6,3-6,5 мм, тонны	0,07	6000,00	0,196	1176	0,07	420
Проволока стальная низкоуглеродистая разного назначения светлая, диаметр 1,1 мм, тонны	0,053	9000,00	0,1484	1336	0,053	477
Электроды, диаметр 6 мм, марка Э 42-А, тонны	0,086	11600,00	0,2408	2794	0,086	998

продолжение табл. Д.2

Доски обрезные из хвойных пород, длина 4-6,5 м, ширина 75-150 мм, толщина 25 мм, III сорт, м ³	4,6	1330,00	12,88	17131	4,6	6118
Доски обрезные из хвойных пород, длина 4-6,5 м, ширина 75-150 мм, толщина 44 мм и более, III сорт, м ³	1,2	1275,00	3,36	4284	1,2	1530
Вода, м ³	0,441	7,5	1,2348	10	0,441	5
Смеси бетонные готовые тяжелые, класс бетона В 15 (М 200), крупность заполнителя 10 мм и менее, тонны	102	750,00	285,6	214200	102	76500
Арматура, тонны	16,6	7500,00	46,48	348600	16,6	124500
Итого:				592182		211495
Машины и механизмы						
Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 тонн, маш-ч	9,34	120,00	26,152	3139	9,34	1121

продолжение табл. Д.2

Краны на автомобильном ходу, грузоподъемность до 10 тонн, маш-ч	54,95	250,00	153,86	38465	54,95	13738
Краны на гусеничном ходу, грузоподъемность до 16 тонн, маш-ч	151,41	125,00	423,948	52994	151,41	18927
Автопогрузчики, грузоподъемность до 5 тонн, маш-ч	0,94	275,00	2,632	724	0,94	259
Установка для сварки ручной дуговой (постоянного тока), маш-ч	78,2	150,00	218,96	32844	78,2	11730
Бадьи, емкость 2 м ³ , маш-ч	154,8	10,00	433,44	4335	154,8	1548
Вибраторы для всех видов строительства, кроме гидротехнического, маш-ч	154,8	10,00	433,44	4335	154,8	1548
Итого:				136836		48871

продолжение табл. Д.2

Затраты труда						
Затраты труда рабочих-строителей, чел.-час	3485,8	20,86	9760,24	203599	3485,8	72714
Средний разряд работ	4	-	-	-	-	-
Затраты труда машинистов, чел.-час	216,64	40,00	631,72224	24264	216,64	8666
Итого:				227863		81380

Таблица Д.3

Ведомость ресурсов к сводному сметному расчету стоимости изготовления металлических конструкций (перегородок)

Наименование ресурса	Норматив в расчете на М=1 тонну конструкций	Ориентировочная стоимость за единицу ресурса, грн.	Значение с учетом фактического количества металлических листовых конструкций (при М=19 тонн)	
			по факту	стоимость, грн.
Материалы				
Кислород технический газообразный, м ³	2,2	5,00	41,8	209
Электроды, диаметр 5 мм, марка Э42, тонны	0,0217	10310,00	0,4123	4251
Круги армированные абразивные зачистные, диаметр 180х6 мм, шт.	0,1	55,00	1,9	105
Сталь листовая, тонны	1,042	7500,00	19,798	148485
Пропан-бутан технический, м ³	0,256	10,00	4,864	49
Итого:				153099

продолжение табл. Д.3

Машины и механизмы				
Автомобили бортовые, грузоподъемность до 5 тонн, маш-ч	0,5	120,00	9,5	1140
Пресс гидравлический с электроприводом, маш-ч	0,7	3,00	13,3	40
Краны на автомобильном ходу при работе на монтаже технологического оборудования, грузоподъемность 10 тонн, маш-ч	9,0	250,00	171	42750
Преобразователи сварочные с номинальным сварочным током 315-500 А, маш-ч	28,6	15,00	543,4	8151
Аппарат для газовой сварки и резки, маш-ч	0,7	25,00	13,3	333
Итого:				52414
Затраты труда				
Затраты труда рабочих-строителей, чел.-час	146,88	20,86	2790,72	58215
Средний разряд работ	4	-	-	-
Затраты труда машинистов, чел.-час	9,5	40,00	180,5	7220
Итого:				65435

Таблица Д.4

Расчет величин экологического налога за сброс в водные объекты загрязняющих веществ с шахтными водами по вариантам

Название загрязняющего вещества	Фактическая концентрация C_i , т/м ³		Фактическая масса сброса M_i , т/год		$ПДК_i$, г/м ³	Ставка налога $Нn_i$, грн./тонну	Величина экологического налога $П_i$, тыс. грн. в год	
	базовый вариант	предлагаемый вариант	базовый вариант	предлагаемый вариант			базовый вариант	предлагаемый вариант
Взвешенные вещества	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-5}$	525,6	52,56	10,75	251,46	132,167	13,217
Сульфаты	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$	1629,36	1629,36	500	251,46	409,719	409,719
Хлориды	$2,6 \cdot 10^{-3}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$	6832,8	6832,8	350	251,46	1718,176	1718,176
Медь	$7 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-9}$	0,0184	0,00263	1	12342,53	0,227	0,033
Железо	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$4,61 \cdot 10^{-7}$	6,833	1,212	0,3	12342,53	84,337	14,959
Марганец	$6,23 \cdot 10^{-7}$	$6,08 \cdot 10^{-7}$	1,64	1,598	0,1	71592,29	117,411	114,405
Свинец	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$2,4 \cdot 10^{-8}$	0,0762	0,063	0,03	71592,29	5,455	4,510
Никель	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$	0,0473	0,0394	0,1	71592,29	3,386	2,821
Цинк	$3 \cdot 10^{-8}$	$7 \cdot 10^{-9}$	0,07884	0,0184	1	12342,53	0,973	0,227
Хром	$2,4 \cdot 10^{-8}$	$2,15 \cdot 10^{-8}$	0,0631	0,0578	0,55	12342,53	0,779	0,713
Всего	-	-	-	-	-	-	2472,63	2278,78

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
ПРОТОКОЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ШАХТНОЙ ВОДЫ ДО
И ПОСЛЕ РЕАЛИЗАЦИИ НОВОГО СПОСОБА ЕЕ ОЧИСТКИ
 Протокол Е.1 (копия)



Асоціація українських підприємств вторинних металів «ВТОРМЕТ»
 ГАЛУЗЕВЕ ОБ'ЄДНАННЯ ВИРОБНИКІВ, ІМПОРТЕРІВ ТА ЕКСПОРТЕРІВ УКРАЇНИ

Свідоцтво Мінекономіки України серія АА №22 від 23.05.07 р.

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «МЕТАЛ»

49005, м. Дніпропетровськ, вул. О.Гончара, 16, р/р 26002129710001 в ПриватБанк м. Дніпропетровська,
 МФО 305299 ЄДРПОУ 24446930, т/ф: +380562-377-8-377; +380562-373-53-60
 E-mail: ooometall@optima.com.ua

Свідоцтво про атестацію № ПЧ-005/2011
 від 14 січня 2011 р., дійсно до 14 січня 2014 р.

Вимірювальна хіміко-аналітична лабораторія,
 м. Дніпропетровськ, вул. Винокурова, 30
 тел. (056)377-53-60

ПРОТОКОЛ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ВОДИ № 56/04.13 вод

1. Найменування джерела водопостачання: **вихідна вода;**
2. Місце відбору проби: **Шахта „Степова” (на вході в горизонтальний відстійник);**
3. Замовник: **Кулікова Дар'я Володимирівна;**
4. Дата виконання аналізу: **початок 10” квітня 2013 р.; закінчення „17” квітня 2013;**
5. Результати аналізу:

Найменування показника	Результат аналізу згідно з методикою	Точне значення	Норма по НТД для води			
			питної	підземної	поверхневої	рибогосп. водоймищ
1. Хлориди, (Cl), мг/дм ³	2588,9	2588,9	≤ 250 ^[1]	≤ 350 ^[1]	≤ 350 ^[3]	≤ 300 ^[2]
2. Сульфати, (SO ₄), мг/дм ³	616,1	616,1	≤ 250 ^[1]	≤ 500 ^[1]	≤ 500 ^[3]	≤ 100 ^[2]
3. Залізо, (Fe), мг/дм ³	2,58	2,58	≤ 0,2 ^[1]	≤ 1,0 ^[1]	≤ 0,33 ^[3]	≤ 0,1 ^[2]
4. Марганець, (Mn), мг/дм ³	0,623	0,623	≤ 0,05 ^[1]	≤ 0,5 ^[1]	≤ 0,13 ^[3]	≤ 0,01 ^[2]
5. Мідь, (Cu), мг/дм ³	<0,02	0,007	≤ 1,0 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 1,03 ^[3]	≤ 0,001 ^[2]
6. Кадмій, (Cd), мг/дм ³	<0,001	-	≤ 0,001 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 0,0013 ^[3]	≤ 0,005 ^[2]
7. Кобальт, (Co), мг/дм ³	<0,01	-	≤ 0,1 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 0,13 ^[3]	≤ 0,01 ^[2]
8. Нікель, (Ni), мг/дм ³	<0,02	0,018	≤ 0,02 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 0,13 ^[3]	≤ 0,01 ^[2]
9. Свинець, (Pb), мг/дм ³	0,029	0,029	≤ 0,01 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 0,03 ^[3]	≤ 0,1 ^[2]
10. Хром загальний, (Cr), мг/дм ³	0,024	0,024	≤ 0,05 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 1,0 ^[3]	не норм. ^[2]
11. Цинк, (Zn), мг/дм ³	0,03	0,03	≤ 1,0 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 1,03 ^[3]	≤ 0,01 ^[2]

Виконуючий обов'язки
 начальника лабораторії

Рибальченко Т.М.

Виконавці:
 Хімік-аналітик
 Хімік-аналітик
 Хімік-аналітик

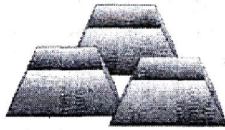
Будагова А.А.
 Ткачук А.П.
 Кускова А.Ю.



«17» квітня 2013 р.

Генеральний директор

О.В. Громов



АСОЦІАЦІЯ УКРАЇНСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ ВТОРИННИХ МЕТАЛІВ «ВТОРМЕТ»
 ГАЛУЗЕВЕ ОБ'ЄДНАННЯ ВИРОБНИКІВ, ІМПОРТЕРІВ ТА ЕКСПОРТЕРІВ УКРАЇНИ
 Свідоцтво Мінекономіки України серія АА №22 від 23.05.07 р.
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «МЕТАЛ»

49005, м. Дніпропетровськ, вул. О.Гончара, 16, р/р 26002129710001 в ПриватБанк м. Дніпропетровська,
 МФО 305299 ЄДРПОУ 24446930, т/ф: +380562-377-8-377; +380562-373-53-60
 E-mail: oometall@optima.com.ua

Свідоцтво про атестацію № ПЧ-005/2011
 від 14 січня 2011 р., дійсно до 14 січня 2014 р.

Вимірювальна хіміко-аналітична лабораторія,
 м. Дніпропетровськ, вул. Винокурова, 30
 тел. (056)377-53-60

ПРОТОКОЛ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ВОДИ № 57/04.13 вод

1. Найменування джерела водопостачання: **просте відстоювання;**
2. Місце відбору проби: **Шахта „Степова” (на вході в горизонтальний відстійник);**
3. Замовник: **Кулікова Дар'я Володимирівна;**
4. Дата виконання аналізу: **початок „10” квітня 2013 р.; закінчення „17” квітня 2013;**
5. Результати аналізу:

Найменування показника	Результат аналізу згідно з методикою	Точне значення	Норма по НТД для води			
			питної	підземної	поверхневої	рибогосп. водоймищ
1. Хлориди, (Cl), мг/дм ³	2588,9	2588,9	≤ 250 ^[1]	≤ 350 ^[1]	≤ 350 ^[3]	≤ 300 ^[2]
2. Сульфати, (SO ₄), мг/дм ³	616,1	616,1	≤ 250 ^[1]	≤ 500 ^[1]	≤ 500 ^[3]	≤ 100 ^[2]
3. Залізо, (Fe), мг/дм ³	0,461	0,461	≤ 0,2 ^[1]	≤ 1,0 ^[1]	≤ 0,33 ^[3]	≤ 0,1 ^[2]
4. Марганець, (Mn), мг/дм ³	0,608	0,608	≤ 0,05 ^[1]	≤ 0,5 ^[1]	≤ 0,13 ^[3]	≤ 0,01 ^[2]
20. Мідь, (Cu), мг/дм ³	<0,02	0,001	≤ 1,0 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 1,03 ^[3]	≤ 0,001 ^[2]
21. Кадмій, (Cd), мг/дм ³	<0,001	-	≤ 0,001 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 0,0013 ^[3]	≤ 0,005 ^[2]
22. Кобальт, (Co), мг/дм ³	<0,01	-	≤ 0,1 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 0,13 ^[3]	≤ 0,01 ^[2]
23. Нікель, (Ni), мг/дм ³	<0,02	0,015	≤ 0,02 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 0,13 ^[3]	≤ 0,01 ^[2]
24. Свинець, (Pb), мг/дм ³	0,024	0,024	≤ 0,01 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 0,03 ^[3]	≤ 0,1 ^[2]
25. Хром загальний, (Cr), мг/дм ³	0,0215	0,0215	≤ 0,05 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 1,0 ^[3]	не норм. ^[2]
26. Цинк, (Zn), мг/дм ³	<0,02	0,007	≤ 1,0 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 1,03 ^[3]	≤ 0,01 ^[2]

Виконуючий обов'язки
 начальника лабораторії

Рибальченко Т.М.

Виконавці:
 Хімік-аналітик
 Хімік-аналітик
 Хімік-аналітик

Будагова А.А.
 Ткачук А.П.
 Кускова А.Ю.

Генеральний директор



«17» квітня 2013 р.

О.В. Громов



АСОЦІАЦІЯ УКРАЇНСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ ВТОРИННИХ МЕТАЛІВ «ВТОРМЕТ»
 ГАЛУЗЕВЕ ОБ'ЄДНАННЯ ВИРОБНИКІВ, ІМПОРТЕРІВ ТА ЕКСПОРТЕРІВ УКРАЇНИ
 Свідоцтво Мінекономіки України серія АА №22 від 23.05.07 р.
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «МЕТАЛ»

49005, м. Дніпропетровськ, вул. О.Гончара, 16, р/р 26002129710001 в ПриватБанк м. Дніпропетровська,
 МФО 305299 ЄДРПОУ 24446930, т/ф: +380562-377-8-377; +380562-373-53-60
 E-mail: oometall@optima.com.ua

Свідоцтво про атестацію № ПЧ-005/2011
 від 14 січня 2011 р., дійсно до 14 січня 2014 р.

Вимірювальна хіміко-аналітична лабораторія,
 м. Дніпропетровськ, вул. Винокурова, 30
 тел. (056)377-53-60

ПРОТОКОЛ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ВОДИ № 58/04.13 вод

1. Найменування джерела водопостачання: **відстоювання з коагулянтгом;**
2. Місце відбору проби: **Шахта „Степова” (на вході в горизонтальний відстійник);**
3. Замовник: **Кулікова Дар'я Володимирівна;**
4. Дата виконання аналізу: **початок „10” квітня 2013 р.; закінчення „17” квітня 2013;**
5. Результати аналізу:

Найменування показника	Результат аналізу згідно з методикою	Точне значення	Норма по НТД для води			
			питної	підземної	поверхневої	рибогосп. водоймищ
1. Хлориди, (Cl), мг/дм ³	2588,9	2588,9	≤ 250 ^[1]	≤ 350 ^[1]	≤ 350 ^[3]	≤ 300 ^[2]
2. Сульфати, (SO ₄), мг/дм ³	616,1	616,1	≤ 250 ^[1]	≤ 500 ^[1]	≤ 500 ^[3]	≤ 100 ^[2]
3. Залізо, (Fe), мг/дм ³	0,187	0,187	≤ 0,2 ^[1]	≤ 1,0 ^[1]	≤ 0,33 ^[3]	≤ 0,1 ^[2]
4. Марганець, (Mn), мг/дм ³	0,565	0,565	≤ 0,05 ^[1]	≤ 0,5 ^[1]	≤ 0,13 ^[3]	≤ 0,01 ^[2]
20. Мідь, (Cu), мг/дм ³	<0,02	0,001	≤ 1,0 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 1,03 ^[3]	≤ 0,001 ^[2]
21. Кадмій, (Cd), мг/дм ³	<0,001	-	≤ 0,001 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 0,0013 ^[3]	≤ 0,005 ^[2]
22. Кобальт, (Co), мг/дм ³	<0,01	-	≤ 0,1 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 0,13 ^[3]	≤ 0,01 ^[2]
23. Нікель, (Ni), мг/дм ³	<0,02	0,015	≤ 0,02 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 0,13 ^[3]	≤ 0,01 ^[2]
24. Свинець, (Pb), мг/дм ³	0,021	0,021	≤ 0,01 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 0,03 ^[3]	≤ 0,1 ^[2]
25. Хром загальний, (Cr), мг/дм ³	<0,02	0,018	≤ 0,05 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 1,0 ^[3]	не норм. ^[2]
26. Цинк, (Zn), мг/дм ³	<0,02	0,005	≤ 1,0 ^[1]	не визнач. ^[1]	≤ 1,03 ^[3]	≤ 0,01 ^[2]

Виконуючий обов'язки
 начальника лабораторії

Рибальченко Т.М.

Виконавці:
 Хімік-аналітик
 Хімік-аналітик
 Хімік-аналітик

Будагова А.А.
 Ткачук А.П.
 Кускова А.Ю.

Генеральний директор



«17» квітня 2013 р.

О.В. Громов

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВА ШАХТНОЙ ВОДЫ ПОСЛЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДЛОЖЕННОГО СПОСОБА ЕЕ ОЧИСТКИ

Таблица Ж.1

Значения расчетных параметров для определения обобщенной функции желательности (ОФЖ) и оценки качества исследуемых проб шахтной воды

Гидрохимический показатель	исходная шахтная вода					шахтная вода после простого отстаивания				
	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$
взвешенные вещества	1	10	10	0,198	9,27E-08	1	1	1	1	1
хлориды	0,25	2,672	0,668	0,657	0,755	0,25	2,672	0,668	0,657	0,755
сульфаты	0,25	0,857	0,214	0,988	1	0,25	0,857	0,214	0,988	1
медь	0,33	0,007	0,002	0,014	1	0,33	0,001	0,00033	0,002	1
никель	0,33	0,18	0,059	0,349	1	0,33	0,15	0,05	0,293	1
свинец	0,5	0,967	0,483	0,999	1	0,5	0,8	0,4	0,976	1
хром	0,33	0,024	0,008	0,048	1	0,33	0,022	0,007	0,043	1
железо	0,33	5,16	1,703	0,374	0,187	0,33	0,922	0,304	0,997	0,999
цинк	0,33	0,03	0,01	0,06	1	0,33	0,007	0,002	0,014	1
марганец	0,33	6,23	2,056	0,313	0,092	0,33	6,08	2,006	0,32	0,102
$K = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \beta_i$	-	-	15,204	-	-	-	-	4,652	-	-
$\prod_{i=1}^n (d_i^{\alpha \cdot \beta})$	-	-	-	-	1,201E-09	-	-	-	-	0,0769

продолжение табл. Ж.1

Гидрохимический показатель	шахтная вода после реагентного отстаивания				
	α_i	β_i	$\alpha_i \cdot \beta_i$	d_i	$d_i^{\alpha \cdot \beta}$
взвешенные вещества	1	1	1	1	1
хлориды	0,25	2,672	0,668	0,657	0,755
сульфаты	0,25	0,857	0,214	0,988	1
медь	0,33	0,001	0,00033	0,002	1
никель	0,33	0,15	0,05	0,293	1
свинец	0,5	0,7	0,35	0,94	1
хром	0,33	0,018	0,006	0,036	1
железо	0,33	0,374	0,123	0,656	1
цинк	0,33	0,005	0,002	0,01	1
марганец	0,33	5,65	1,865	0,343	0,136
$K = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \beta_i$	-	-	4,277	-	-
$\prod_{i=1}^n (d_i^{\alpha \cdot \beta})$	-	-	-	-	0,1028

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Акт 3.1 (копия)



ВИРОБНИЧИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ «ШАХТОУПРАВЛІННЯ ПЕРШОТРАВЕНСЬКЕ» ПУБЛІЧНОГО АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ»

Юридична адреса:
вул. Першотравнева, 1д
с. Миколаївка
Петропавлівський район
Дніпропетровська обл.
52744, Україна

Поштова адреса:
Леніна, 7 м. Першотравенськ
Дніпропетровська обл.
52800, Україна
тел.: +38 05633 7 18 96
тел./факс: +38 05633 5 20 78

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ СТРУКТУРНОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ «ШАХТОУПРАВЛЕНИЕ ПЕРШОТРАВЕНСКОЕ» ПУБЛИЧНОГО АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ»

Юридический адрес:
ул. Першотравнева, 1д
с. Николаевка
Петропавловский район
Днепропетровская обл.
52744, Украина

Почтовый адрес:
ул. Ленина, 7 г. Першотравенск
Днепропетровская обл.
52800, Украина
тел. +38 05633 7 18 96
тел./факс: +38 05633 5 20 78

№ _____
На № 12 від 05.02.14

Довідка про впровадження результатів дисертаційної роботи асистента кафедри екології Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» Кулікової Дар'ї Володимирівни

Дана довідка підтверджує, що в природоохоронній діяльності ВСП Шахтоуправління «Першотравенське» ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» використовуються наступні наукові та практичні розробки Кулікової Д.В.:

- удосконалену методика розрахунку проточних горизонтальних шахтних відстійників з урахуванням кінетики осідання завислих частинок різних гранулометричних фракцій та гідравлічної крупності, яка дозволяє визначити оптимальні конструктивні та технологічні параметри, що забезпечують максимальну ефективність відстоювання шахтних вод;

- технологічну схему модернізації горизонтальних шахтних відстійників, яка передбачає встановлення поперечних вертикальних перфорованих перегородок, що забезпечують рівномірний розподіл швидкості потоку по всій площі поперечного перетину відстійника та ліквідує «застійні» зони;

Модернізація шахтних відстійників з урахуванням запропонованих рекомендацій дозволяє підвищити ефективність механічної очистки шахтних вод від завислих речовин до 80%. Зниження концентрації завислих речовин різних гранулометричних фракцій у шахтній воді дозволить зменшити екологічну небезпеку скидів шахтної води за комплексним екологічним показником у 4,3 рази після її простого (безреагентного) відстоювання.

Наукові та практичні рекомендації розроблені Куліковою Д.В. включено до плану природоохоронних заходів та дозволяють підвищити рівень екологічної безпеки скидів шахтної води у поверхневій водні об'єкти.

Директор



О.В. Ефремов

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Генеральний директор
ДП НВО «Павлоградський
хімічний завод»,
Головний інженер-конструктор РДТП,
доктор технічних наук
Ділан Л.М.
« 2014 р.



**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
результатів дисертаційної роботи асистента кафедри екології
ДВНЗ «Національний гірничий університет»
Кулікової Дар'ї Володимирівни**

Ми, що підписалися нижче, голова комісії, начальник УОП, ЕНіСР – головний еколог Холоденко Т.Ф. та члени комісії: перший заступник директора НДІ ВЕМ по науці Підкаменна Л.І., начальник БЕН УОП, ЕНіСЗ Петрига Я.П. склали даний акт про те, що результати науково-дослідницьких робіт за темою кандидатської дисертації Кулікової Д.В. впроваджено на ДП НВО «Павлоградський хімічний завод» та використовуються у роботі спеціалістами бюро екологічного нагляду УОП, ЕНіСР.

На підприємстві використовуються результати досліджень з інтенсифікації процесу гравітаційного осадження завислих у стічній воді частинок забруднювачів, що проводилися на діючому макеті відстійника води оригінальної конструкції (патент 98382 UA). Перевагою відстійника є відсутність застійних зон і рівномірний розподіл швидкості потоку освітлюваної води по всій площі його поперечного перетину за рахунок змінної форми відстійника (від не глибокого, але широкого, – в області впуску забрудненої води, до вузького, але глибокого, – в області скиду освітленої води) та обґрунтованої кількості і місця розташування перфорованих перегородок по довжині відстійника.

Використання удосконаленого відстійника на 80% підвищує ефективність очистки (освітлювання) стічної води від механічних домішок при простому (безреагентному) її відстоюванні. Впровадження відстійника включено до плану природоохоронних заходів ДП НВО «ПХЗ», спрямованих на підвищення екологічної безпеки скидів стічної води у поверхневі водойми.

Голова комісії:
Начальник УОП, ЕНіСР,
Головний еколог

Т.Ф. Холоденко

Члени комісії:
Перший заступник директора
НДІ ВЕМ по науці

Л.І. Підкаменна

Начальник БЕН УОП, ЕНіСР

Я.П. Петрига