

О СОЗДАНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

А.М. Петров, Ю.Е. Николаев (ООО «НТЦ «Энергоавтоматизация»)

Рассмотрены требования подзаконных нормативных актов в области промышленного экологического мониторинга и типовой состав систем промышленного экологического мониторинга стационарных источников выбросов загрязняющих веществ, удовлетворяющие этим требованиям.

Ключевые слова: экологический мониторинг, автоматизированные системы экологического контроля, автоматические средства измерения и учета выбросов.

ФЗ «Об охране окружающей среды» (ст. 67, п. 9) обязывает предприятия первой категории опасности оснащать стационарные источники выбросов и сбросов системами автоматического контроля выбросов и сбросов загрязняющих веществ (ЗВ). Согласно Постановлению правительства РФ № 262¹ (п. 4) создание систем автоматического контроля осуществляется путем оснащения стационарных источников автоматическими средствами измерения и учета показателей выбросов и сбросов ЗВ, а также создания технических средств фиксации и передачи информации о показателях выбросов и сбросов в Государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. Типы стационарных источников, подлежащих оснащению автоматическими средствами измерения и учета показателей выбросов и сбросов ЗВ, определяются Распоряжением правительства РФ № 428², а перечень показателей выбросов и сбросов ЗВ, подлежащих определению, предусмотрен Постановлением правительства РФ № 262.

В связи с многочисленностью подзаконных актов, а также разнообразием средств и методов измерения показателей выбросов, актуальным является рассмотрение типовой структуры автоматических систем учета показателей выбросов и сбросов ЗВ. В данной статье рассмотрим подход к созданию системы автоматических выбросов ЗВ в атмосферный воздух.

Наиболее распространенным типом стационарных источников выбросов ЗВ в атмосферу являются технологические печи или печи дожига газов процессов переработки нефти и газа и процессов производства химических веществ и продуктов, а также паровые котлы, работающие на твердом и жидком топливе. Все эти источники объединяет наличие дымовой трубы, на которой требуется разместить средства измерения и учета показателей выбросов ЗВ. Общая схема взаимодействия компонентов системы автоматического контроля на одном стационарном источнике выбросов представлена на рис. 1.

Перечень определяемых показателей выбросов ЗВ регламентируется п. 8 Постановления Правительства

РФ № 262. Чаще всего на таких источниках необходимо измерять расход, влагосодержание (объемную долю влаги), температуру и давление дымовых газов, а также содержание в них диоксида серы (SO₂), оксидов азота (NO, NO₂) и оксида углерода (CO), взвешенных частиц, реже — сероводорода (H₂S), аммиака (NH₃), хлороводорода (HCl), фтороводорода (HF).

Методы определения «перечисленных компонентов основаны либо на экстрактивных методах (ИК-спектроскопия с преобразованием Фурье (FTIR), недисперсионная инфракрасная спектрометрия (NDIR), недисперсионная ультрафиолетовая спек-

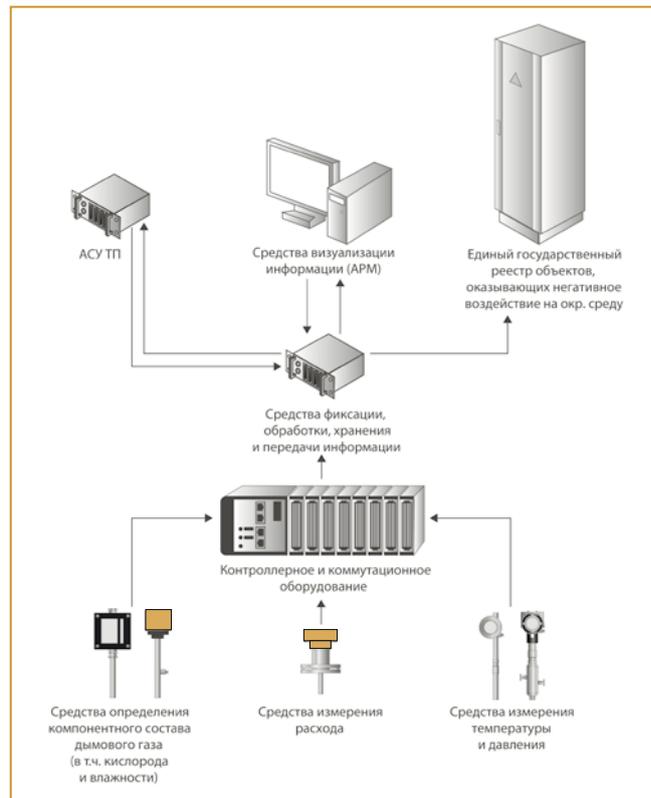


Рис. 1. Общий принцип взаимодействия компонентов системы автоматического контроля выбросов ЗВ на одном стационарном источнике

¹ Постановление Правительства РФ № 262 «Об утверждении Правил создания и эксплуатации системы автоматического контроля выбросов ЗВ и (или) сбросов ЗВ» от 13.03.2019.

² Распоряжение Правительства РФ № 428-р. «Об утверждении видов технических устройств, оборудования или их совокупности (установок) на объектах I категории, стационарные источники выбросов ЗВ которых подлежат оснащению автоматическими средствами измерения и учета показателей выбросов ЗВ и (или) сбросов ЗВ, а также техническими средствами фиксации и передачи информации о показателях выбросов ЗВ и (или) сбросов ЗВ в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду» от 13 марта 2019 г.

трометрия (NDUV)), либо на неэкстрактивных методах (абсорбционная спектроскопия с помощью лазерного диода (TDL), дифференциальная оптическая абсорбционная спектроскопия (DOaS)) [1].

Электрохимические методы определения компонентного состава, несмотря на отсутствие прямого запрета на их применение в «Информационно-техническом справочнике по наилучшим доступным технологиям»³ (ИТС НДТ), использовать для экологического мониторинга не рекомендуется, так как электрохимические сенсоры имеют низкие селективность измерения и стабильность метрологических характеристик, а также ограниченный срок эксплуатации [1, 2].

Оптические методы исследования компонентного состава газов основаны на измерении интенсивности поглощения оптического излучения компонентами анализируемой среды. Они высокоселективны, стабильны и подходят для определения подавляющего большинства компонентов дымовых газов, благодаря чему хорошо зарекомендовали себя и широко используется в промышленности.

В п. 15 Постановления Правительства РФ № 262 содержатся требования осуществлять проектирование системы автоматического контроля промышленных выбросов с учетом положений ИТС НДТ. Данный документ накладывает запрет на использование непрямых методов измерений, таких как конверторы NO_2/NO , пересчет объемной доли влаги через относительную влажность, каких-либо корреляционных, расчетных методов определения концентраций ЗВ либо расхода.

Прямые средства определения компонентного состава (газоанализаторы) подразделяются на [2]:

1) экстрактивные методы без предварительного охлаждения пробы — так называемая «горячая влажная проба»;

2) экстрактивные методы с предварительным охлаждением и осушением пробы — так называемая «холодная сухая проба»;

3) неэкстрактивные (беспробоотборные) методы с анализом непосредственно в дымовой трубе (In situ).

Применение систем подготовки пробы с охлаждением и осушкой приводят к физическим изменениям состава пробы (растворению в воде части NO_2 , SO_2 , NH_3) с последующей недостоверностью результатов анализа. Кроме того, такой метод не позволяет непосредственно измерять влагосодержание дымового газа, что вынуждает применять либо косвенный метод, либо дооснащать систему газоанализатором без охлаждения пробы. Экстрактивный метод «горячая влажная проба» позволяет определять широкий спектр компонентов дымового газа, а также производить прямые измерения объемной доли влаги. Несмотря на то, что при применении экстрактивных систем необходим обогрев всех отборных линий выше точки

росы газа для предотвращения выпадения конденсата, экстрактивные системы относительно просты в монтаже, техническом обслуживании и периодической проверке. Неэкстрактивные приборы с размещением непосредственно на дымовой трубе на сегодняшний день также способны покрыть весь перечень анализируемых компонентов дымового газа, в том числе объемной доли влаги, однако их размещение на дымовой трубе сопряжено с трудностями по монтажу, а также требует большой площадки для обслуживания. Кроме того, применение газоанализаторов типа In-situ имеет ограничение по температуре дымовых газов.

Несмотря на требования ИТС НДТ производить исключительно прямые измерения параметров выбросов, в этом же документе содержится следующая формулировка: «При этом, в тех случаях, когда прямые измерения не могут быть реализованы, либо могут быть реализованы только с большими материальными затратами, допускается применение косвенных методов, при условии, что такие методы адекватно описывают фактические значения». Адекватность косвенного метода определяется в ходе метрологических испытаний системы организацией, осуществляющей метрологическую сертификацию системы автоматического контроля. Применение косвенного метода измерения в сложившейся ситуации определяется заказчиком исходя из экономической целесообразности и соответствия метода метрологическим требованиям.

С учетом вышесказанного, на сегодняшний день методами, удовлетворяющими требованиям законодательства с учетом рекомендаций ИТС НДТ, являются:

1) метод «горячая влажная проба»;

2) газоаналитическая система с размещением непосредственно на дымовой трубе (In-situ);

3) метод «холодная сухая проба» с применением датчика относительной влажности для пересчета объемного влагосодержания. Отметим, что на сегодняшний день такой метод согласно формулировкам ИТС НДТ не рекомендуется, но допускается к применению. Данный метод является самым доступным по цене, однако решение о поставке системы экологического мониторинга на основе такого метода допустимо только с учетом понимания рисков ужесточения норм и требований в будущем.

Средства измерения расхода, подходящие для размещения на дымовых трубах, делятся на [3]:

1) работающие по принципу перепада давления;

2) ультразвукового типа.

Термомассовые, вихревые и оптические расходомеры в подавляющем большинстве случаев не подходят для анализа дымовых газов, так как их применение сильно ограничено по диаметру трубы [3]. Кроме того, термомассовые и оптические расходомеры требуют знание точного состава анализируемой среды перед установкой.

¹ Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 22.1-2016 «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения».

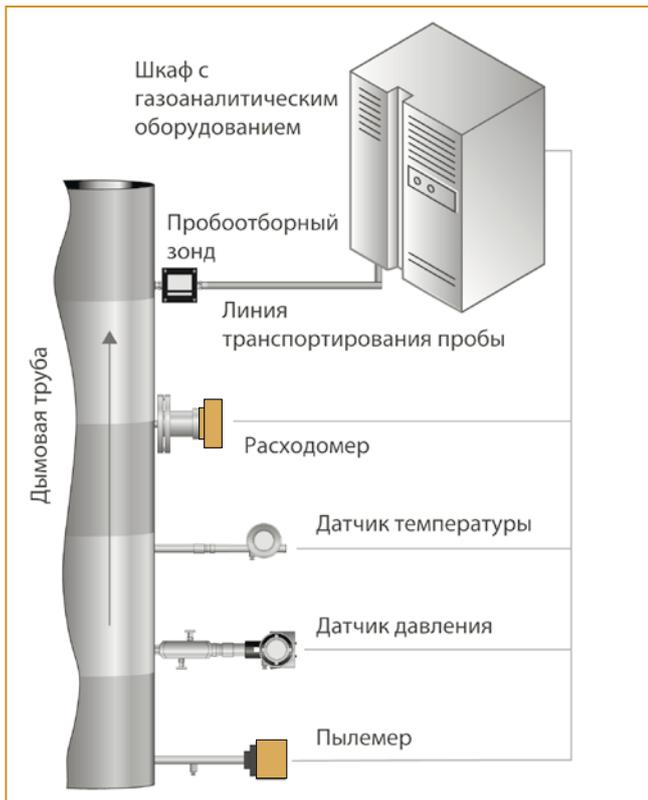


Рис. 2. Типовая структура системы автоматического контроля на одном стационарном источнике

Ультразвуковые расходомеры имеют более высокую стоимость, ограничены по температуре анализируемой среды (\approx до $450\text{ }^{\circ}\text{C}$), имеют сложности с размещением на трубах с диаметром $> 6\text{ м}$, но при этом более точны, сохраняют стабильность метрологических характеристик в широком диапазоне скоростей дымовых газов и поверяются без демонтажа измерительных зондов.

Расходомеры, основанные на методе перепада давления, широко зарекомендовали себя в качестве относительно недорогих и надежных средств измерения расхода дымовых газов. Они подходят для труб большого диаметра (до 12 метров), рассчитаны на анализируемые среды с высокими температурами (\approx до $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$) и давлением (20 МПа). Однако расходомеры такого типа ощутимо ухудшают свои метрологические характеристики в условиях снижения скорости потока относительно номинальной на 30...50%.

Таким образом, выбор метода измерения и конкретной модели расходомера зависит от диаметра дымовой трубы, номинальных и максимальных скорости и температуры дымовых газов, категории взрывоопасной зоны, наличия либо отсутствия, коррозионно-опасных компонентов в дымовых газах и других факторов.

Для анализа содержания взвешенных частиц (пыли) в дымовых газах применяются оптические приборы, устанавливаемые непосредственно на дымовой трубе, основанные на принципе измерения поглощения частицами взвешенных частиц лазерного излучения, пропускаемого излучателем пылемера че-

рез сечение дымовой трубы [4, 5]. Оптические пылемеры работают в широком диапазоне концентраций и обладают высокой точностью измерений, однако значительно снижают метрологические характеристики при измерении газового потока с содержанием взвешенных частиц размерами свыше 10 мкм. Кроме того, оптическим пылемерам необходим подвод сжатого воздуха для продувки чувствительных сенсоров. Данных недостатков лишены приборы, основанные на трибоэлектрическом методе измерения. Данные приборы удобны при монтаже и обслуживании, однако не подходят для применения во влажных дымовых газах (с относительной влажностью свыше $\approx 30\text{...}40\%$).

Типовая структура системы автоматического контроля для одного стационарного источника, спроектированная с учетом перечисленных положений, показана на рис. 2. Такая система напрямую измеряет содержание ЗВ и параметры выбросов, включая влажностное содержание и содержание кислорода.

Работа экстрактивной системы автоматического контроля выбросов начинается с пробоотборного зонда. Зонд монтируется непосредственно на дымовой трубе при помощи фланцевого соединения. Вследствие неравномерности параметров потока дымовых газов вблизи стенок дымовой трубы [6], рекомендуется размещать конец пробоотборной трубки зонда максимально, насколько это возможно, близко к центру сечения дымовой трубы. Пробоотборный зонд осуществляет первичную грубую фильтрацию и обогрев пробы газа выше температуры конденсации. Материал пробоотборной трубки выбирается в зависимости от температуры и наличия коррозионно-опасных компонентов дымового газа. Традиционно для дымовых газов без содержания галогенводородов и оксидов серы таким материалом является нержавеющая сталь. Для газов с высоким содержанием коррозионноопасных компонентов применяются пробоотборные трубки из коррозионностойких никелевых сплавов, а для высоких температур (до $\approx 1600\text{ }^{\circ}\text{C}$) применяются пробоотборные трубки из керамики либо из высокотемпературных сплавов.

В конструкции зонда возможно наличие клапана для переключения пробоотборной линии на поверочную линию (рис. 3) для осуществления поверки системы контроля выбросов по всему газовому тракту без извлечения пробоотборного зонда из дымовой трубы. Стандарт такого построения пробоотборных средств в соответствии с требованиями ИТС НДТ введен в качестве обязательного в России [7].

После прохождения зонда проба поступает в линии транспортировки пробы, которая представляет технологическую трубку из нержавеющей стали, титана, никелевых сплавов, либо из термостойких полимеров (PTFE, PFA), возле которой проложен обогревающий спутник — саморегулирующийся греющий кабель либо линия с горячим водяным паром. Обогрев пробы является обязательным для предотвращения выпадения конденсата, так как вы-



Рис. 3. Типовая схема пробного зонда

падение конденсата оказывает значительное влияние на компонентный состав пробы (вместе с влагой из пробы газа увлекается значительная часть таких компонентов, как NO_2 , SO_2 , HCl , HF). Кроме нерепрезентативности пробы, выпадение конденсата с растворенными в нем кислотными газами вызывает коррозию основных технологических линий и оборудования. Температура внутри импульсной линии должна быть минимум на 15°C выше температуры точки росы дымового газа, которая зависит от содержания влаги и кислотообразующих газов. Отметим, что температура точки росы дымовых газов при сжигании некоторых типов углей может превышать 150°C [8–10].

В типовом исполнении при работе по типу «холодная сухая проба» элементы подготовки пробы вклю-

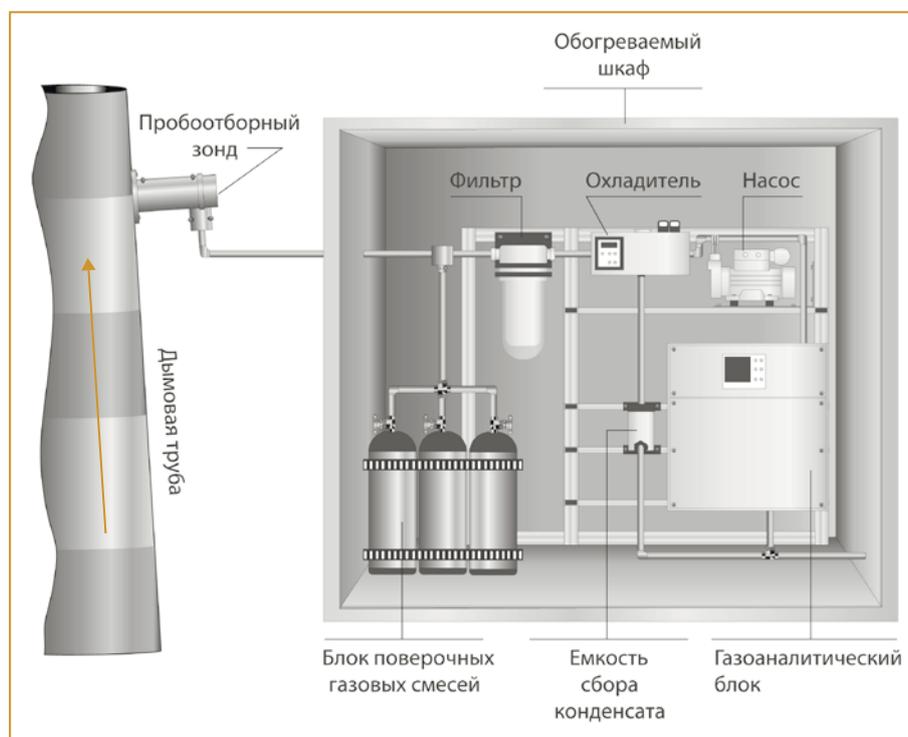


Рис. 4. Типовая схема экстракционной системы

* – охладитель включается в схему при работе системы по типу «холодная сухая проба»

чают фильтры тонкой очистки, насос и охладитель пробы (рис. 4).

В системах, работающих по принципу «холодная проба», обогрев технологических линий заканчивается на входе в охладитель. В системах «горячая проба» необходимо поддерживать температуру пробы выше температуры точки росы на всем протяжении газового тракта до самого входа в газоанализатор.

Обогрев внутреннего пространства шкафа с газоаналитическим оборудованием осуществляется электрическими обогревателями со встроенными терморегуляторами. Шкаф должен быть также оборудован системой вентиляции для защиты оборудования от перегрева и системой освещения для возможности обслуживания. Для размещения системы экологического контроля во взрывозащищенных зонах необходимо предусмотреть взрывозащиту либо путем размещения в шкафу оборудования, имеющего собственную взрывозащиту, либо предусмотреть шкаф с взрывозащитой типа Ex p с продувкой под избыточным давлением. Первый вариант предусматривает возможность обслуживания системы без ее остановки. Однако пунктом 26 Постановления Правительства РФ № 262 вводится требование пломбировать места установки автоматических средств измерения, а также измерительных каналов и мест установки средств фиксации, что вынуждает при открывании шкафа системы автоматического контроля выбросов осуществлять распломбирование, останавливать работу системы и извещать надзорный орган. С учетом вышесказанного, обеспечение взрывозащиты путем применения взрывозащищенных компонентов для постоянного доступа к оборудованию без остановки системы становится неактуальным. В связи с этим использование взрывозащищенных шкафов типа Ex p с продувкой под избыточным давлением является оптимальным вариантом в силу дешевизны измерительного и вспомогательного оборудования в общепромышленном исполнении по сравнению с взрывозащищенным исполнением.

Таким образом, рассмотрев требования подзаконных нормативных актов в области промыш-

ленного экологического мониторинга, сформулируем типовой состав системы промышленного экологического мониторинга стационарных источников выбросов загрязняющих веществ, обладающий при этом вариативностью применяемых средств измерения:

- 1) газоаналитический блок с функцией измерения объемной доли влаги и системой пробоподготовки для экстрактивных газоанализаторов;
- 2) расходомер;
- 3) датчики давления и температуры;
- 4) пылемер (если в выбросах присутствуют взвешенные частицы).

Список литературы

1. EPA Handbook: Optical and Remote Sensing for Measurement and Monitoring of Emissions Flux of Gases and Particulate Matter; United States Environmental Protection Agency. USA, 2018. 344 p.
2. Air Pollution Prevention Manual on Emission Monitoring; Federal Environment Agency. Germany, 2008. 477 p.
3. Frenzel F., Grothey H., Habersetzer C. et al. Industrial Flow Measurement Basics and Practice. ABB Automation Products GmbH. Germany, 2011. 290 p.
4. Castellani B., Morini E., Filippini M. et al. Comparative Analysis of Monitoring Devices for Particulate Content in Exhaust Gases. Sustainability. 2014. V. 6, pp. 4287-4307.
5. Current Knowledge of Particulate Matter (Pm) Continuous Emission Monitoring; United States Environmental Protection Agency. US Office of Air Quality. USA, 2000. 86 p.
6. Росляков П. В., Кондратьева О.Е. Внедрение систем непрерывного контроля и учета выбросов в атмосферу на предприятиях со значительным негативным воздействием на окружающую среду // Экология и промышленность России. 2016. №8. С.12-19.
7. ECMPS Reporting Instructions Quality Assurance and Certification; United States Environmental Protection Agency. 2018. 190 p.
8. Xiang B., Zhang M., Yang H. et al. Prediction of Acid Dew Point in Flue Gas of Boilers Burning Fossil Fuels // Energy Fuels. 2016. V. 30, № 4. p. 3365-3373.
9. Keep P. V., Sakko R. Flue gas heat recovery through the acid dew point // PTQ Q2 Journal. 2019. pp. 93-97.
10. Лившиц С. А., Лебедев В. А., Лебедев Р. В. Методика расчета температуры точки росы уходящих газов, при смешанном сжигании газа и мазута в топках котлов // Проблемы энергетики. 2008. № 3-4, с. 51-57.

*Петров Алексей Михайлович — ведущий инженер,
Николаев Юрий Евгеньевич — руководитель отдела автоматизированных систем
мониторинга и диагностики ООО «НТЦ «ЭНЕРГОАВТОМАТИЗАЦИЯ».
Контактный телефон (347) 286-16-84. E-mail: a.petrov@ntcea.ru y.nikolaev@ntcea.ru*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЯМИ РЕЧНЫХ ДОЛИН

**А.А. Воронин, К.Е. Дубинко (ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет»)
И.И. Исаева (ООО "АдСнайпер")**

Предложен подход к синтезу системы эколого-экономического управления территориями речных долин, сочетающий гидротехнические проекты и организационные механизмы стабилизации их экосистем. Представлены результаты имитационного междисциплинарного моделирования проекта устойчивого обводнения экологически значимых территорий северной части Волго-Ахтубинской поймы.

Ключевые слова: эколого-экономическое управление, речные долины, слабоустойчивые системы, Волго-Ахтубинская пойма, гидродинамическое и геоинформационное моделирование, оптимизация потоков в сетях.

Введение

Традиционно проблема эколого-экономического управления (ЭЭУ) социоприродохозяйственными системами (СПХС) подразумевает их устойчивость, то есть наличие экономически допустимого множества безубыточных действий хозяйствующих субъектов. Однако в слабоустойчивых системах это множество может не существовать. Типичным представителем слабоустойчивых систем являются речные долины. Для них актуальны опасности чрезвычайных затоплений и одновременно опасности хронического обезвоживания в результате длительного антропогенного воздействия. Многокритериальность оптимизационной задачи и неопределенность климатических параметров переводят проблему проектирования системы ЭЭУ в область принятия решений.

На общем фоне деградации пойменных территорий особенной остротой отличается проблема деградации северной части Волго-Ахтубинской поймы (ВАП), состояние которой определяется величиной расхода Q , длительностью t первой фазы паводкового гидрографа Волжской ГЭС (ВГЭС) и динамикой ее русловой структуры. Анализ когнитивной модели функционирования ВАП показал [1, 2], что главными факторами ее прогрессирующего природно-техногенного обезвоживания и, соответственно, деградации ее пойменной экосистемы являются снижение объема весенних паводков и прогрессирующее понижение уровня вод р. Волги вследствие функционирования ВГЭС. Управление этой территорией затруднено ее большим размером (площадь — $> 800 \text{ км}^2$, число малых русел — > 200 ед.) и функциональной неоднородностью структуры (рис. 1),