

ВЛИЯНИЕ РИСКОВ В СИСТЕМАХ ВОДООЧИСТКИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ УКРАИНЫ

Инга УРЯДНИКОВА *)

ABSTRAKT

Разработана методология идентификации и классификации рисков, которые возникают в системах водоподготовки и водоочистки в теплоэнергетике на стадии проектирования и эксплуатации. Предложено критичность системы оценивать по тем состояниям, в которых данная система может находиться. Критерием риска, по которому можно оценивать систему водоочистки, есть вероятность подачи данной системой потребителю некачественной воды в результате отказов, частичных отказов и нештатной работы блоков и элементов этой системы. Разработан обобщенный алгоритм оптимального управления рисками при водоподготовке с целью минимизации риска эксплуатации для любой системы водоочистки.

Kľúčové slová: риск, водоподготовка, водоочистка, система

ABSTRACT

Methodology of authentication and classification of risks which arise up in the systems of water preparation and water purification in heat power engineering on the stage of planning and exploitation is developed. Criticism of the system is offered to estimate the states which this system can be in. The criterion of risk on which it is possible to estimate the system of water purification is probability of serve by this system to the user of not-quality water as a result of refuses, partial refuses and nonpermanent work of blocks and elements of this system. The generalized algorithm of optimum management of risks is developed at water preparation with the purpose of minimization of risk of exploitation for any system of water purification.

Key words: risk, water preparation, water purification, system

*) Инга УРЯДНИКОВА, к.т.н., доцент кафедры «Управление системами безопасности жизнедеятельности» Одесского национального политехнического университета, г. Одесса, Украина, ingavictory@rambler.ru

В настоящее время техногенная деятельность человека вполне сопоставима, по своим последствиям, с силами природы. Поэтому в настоящее время весьма актуален вопрос о взаимодействии человека и природы, а также, о последствиях этого взаимодействия. Это вопрос, от которого зависит, по существу будущее существование человека, как биологического вида.

Одним из главных взаимодействий, которое имеет глобальный характер, является человеческая деятельность по получению энергии или, более узко, взаимодействие, созданных людьми ТЭС и ТЭЦ, с окружающей средой. Суммарная установленная мощность их на Украине составляет 36500 МВт. Эти станции загрязняют окружающую среду сбросами использованной воды в окружающие водоемы и выбросами в атмосферу газообразных и пылевых продуктов сгорания топлива.

Загрязняющие вещества из атмосферы и воды совместно загрязняют почву, способность которой к самоочистке очень ограничена и продолжительна и рекультивация которой стоит очень дорого.

Все современные методы очистки подвержены риску того, что не всегда необходимы показатели качества воды, которая очищается, будут обеспечены. Потому работа систем водоочистки ТЭС и ТЭЦ создает экологический и социальный риск.

В любой системе водоочистки ТЭС или ТЭЦ всегда можно выделить две ветви. Первая – вода после соответствующей очистки сбрасывается в окружающую среду. Вторая – вода после соответствующей очистки подается на энергогенерирующее оборудование, в первую очередь на паровой котел.

В случае недоочистки воды в первой ветви происходит непосредственное загрязнение водного экологического бассейна и почвы, которая создает экологическую угрозу флоре, фауне и людям.

В случае недоочистки воды у второй ветви ухудшаются характеристики котлов, снижается КПД и для получения нужного количества энергии необходимо затратить дополнительное топливо. В этом случае, значительно увеличиваются опасные выбросы в воздушный бассейн. Таким образом, происходит опасное загрязнение воздушного бассейна, а также почвы, которая в свою очередь создает экологическую угрозу флоре, фауне и людям.

Если принять понятие экологического риска по Реймерсу Н.Ф., то это означает вероятность возникновения отрицательных последствий для жизни человека, природных (экологических) систем, природных ресурсов вследствие случайных, намеренных, постепенных или катастрофических изменений окружающей среды, объектов и факторов. Таким образом, вышеупомянутые риски получения недоброкачественной воды при работе систем водоочистки и водоподготовки в теплоэнергетике, по своей сути являются экологическими рисками. В общем случае риск R определяется как произведение следствий отрицательного события $П$ на вероятность ее наступления q , т.е. $R=Пq$.

Минимизация экологического риска и поддержка экологической безопасности окружающей среды во время работы системы водоочистки, может быть обеспечена в первую очередь за счет минимизации экологического риска,

который возникает при работе систем водоочистки и водоподготовки в теплоэнергетике и за счет оптимального управления этим риском.

Целью исследований является повышение экологической безопасности эксплуатации систем водоподготовки и водоочистки в теплоэнергетике за счет разработки теоретических основ и обоснования оценок экологических рисков и управления на их основе работой упомянутых систем.

В ходе анализа, рассмотрены современные положения теории риска. Проведен анализ отечественных и зарубежных работ в области оценки, расчетов и управления рисками. Продемонстрировано, что система водоочистки является одной из важнейших систем, которые обеспечивают нормальную работу ТЭЦ и ТЭС. Выполнен анализ вод, которые используются в теплоэнергетике, рассмотрена классификация основных методов водообработки в теплоэнергетике.

Однако до настоящего времени, невзирая на многочисленные работы, посвященные оценке, расчетам и управлению рисками вопроса расчета и управления рисками в системах водоочистки, используемых в теплоэнергетике, практически не освещены. Отсутствует общий методологический подход, который учитывает разнообразие систем водоочистки и их конструктивных решений. Нет данных о связи и влиянии экологических рисков в системах водоочистки ТЭС и ТЭЦ на экологическое положение страны. Продемонстрировано, что нет четкой системы идентификации и классификации техногенных рисков и определения основных источников рисков в системах водоочистки. Отсутствует методика расчетов вероятностей ненормальной эксплуатации, вероятностей и частот возникновения аварийных ситуаций и их последствий, а также отсутствуют данные по разработке стратегий оптимального управления рисками с точки зрения внутренних свойств систем водоочистки.

Доказано, что экологическая безопасность страны, в значительной мере зависит от рисков, которые возникают при эксплуатации систем водоподготовки и водоочистки ТЭС и ТЭЦ из-за дополнительного загрязнения атмосферы, воды и почвы, как следствие проявления этих рисков. Сделаны расчеты количества загрязненной воды, из-за реализации рисков, которая поступает к котлу, изменения концентрации загрязнений в этой воде, рост толщины накипи на теплообменных поверхностях котлов и снижения, в результате этого КПД, который является причиной значительных дополнительных расходов топлива и увеличения выбросов в атмосферу продуктов сгорания. Рассчитан общий загрязненный фон атмосферы страны и дополнительная доля загрязнений из-за реализации техногенных рисков в системах водоочистки. Проведены расчеты негативного влияния загрязнений атмосферы, из-за реализации техногенных рисков в системах водоочистки, на дополнительный рост общего фона загрязнения атмосферы на территории всей Украины.

Приведена классификация сточных вод ТЭС и ТЭЦ и уровень загрязнения этих вод. Рассчитана дополнительная доля загрязнений, которая добавляется рисками, реализуемыми в системах водоподготовки и водоочистки ТЭС и ТЭЦ, показано повышение загрязняющих концентраций, как результат реализации техногенного риска, проведены вычисления негативного влияния загрязнений

воды из-за реализации техногенных рисков в системах водоочистки на экологическую ситуацию в водном бассейне Украины.

Рассмотрено влияние экологических рисков в системе водоочистки на загрязнение почвы. Показан рост концентрации загрязняющих веществ в почве, как результат взаимодействия последней с атмосферой и водой.

Приведены расчеты и получены ориентировочно-вероятностные данные о влиянии загрязнений воздуха, воды и почвы на жизненный цикл человека. Показано, что риски, которые возникают и реализуются в системах водоочистки ТЭС и ТЭЦ, имеют глобальный характер для ухудшения экологической безопасности Украины.

Для того, чтобы решить задачу минимизации и управления рисками, возникающими при работе систем водоочистки в теплоэнергетике необходимо изучить и проанализировать закономерности возникновения и действия экологических рисков, возникающих при работе систем водоочистки в теплоэнергетике, которые и являются причиной ухудшения экологической безопасности Украины.

Для анализа и оценки рисков при работе системы водоочистки, критичность системы оценивалась по тем состояниям, в которых данная система может находиться. А именно:

класс 1 - предельный - состояние, связанное с ошибками персонала и со штатной работой системы водоочистки, когда из-за сущности физико-химических процессов, которые происходят в системе и из-за естественной инерционности блоков, возможно появление некоторого количества недоочищенной воды, особенно при значительных внешних возмущениях, которые влияют на систему;

класс 2 - критический - состояние, связанное с ошибками персонала, недостатками конструкции и с нештатной работой одного или нескольких блоков системы, что приводит к существенным нарушениям в работе и создает опасную ситуацию, когда недоочищенная вода появляется в значительных количествах;

класс 3 - опасный - состояние, связанное с ошибками персонала, недостатками конструкции и с отказами одного или нескольких блоков системы. В этом случае, вода может быть вообще неочищенной и последующая эксплуатация системы может привести к опасным последствиям, как в техническом, так и в экологическом аспектах.

Критерием риска, по которому можно оценивать систему водоочистки, есть вероятность подачи данной системой потребителю некачественной воды в результате отказов, частичных отказов и нештатной работы блоков и элементов этой системы.

Создание обобщенной методики, (подходящей для любой системы водоочистки) теоретической оценки этих рисков является одной из задач данной работы, поскольку существующие системы водоочистки значительно отличаются одна от другой как физико-химическими принципами, на которых основывается их работа, так и конструктивно.

Поэтому в данной работе для разработки общей методологии определения разных рисков в системе водоочистки в теплоэнергетике, построена виртуальная

система водоочистки, в которой можно выделить магистраль вызывающие экологические и социальные риски, а также экономические риски.

Вначале исследовался **класс 3 – опасный**.

Отказы в системах водоочистки это события, которые заключаются в нарушении нормального выполнения функций системы.

Следует отметить, что как при работе разных элементов, так и при работе системы в целом наблюдается некоторая закономерность отказов на протяжении периода эксплуатации. Так, в начале работы системы, разные отказы наблюдаются достаточно часто, когда отражаются разные дефекты изготовления, монтажа и пуска. Через какое-то время плотность отказов снижается и начинается период нормальной эксплуатации, когда вероятность отказа достаточно мала. Третий этап работы, через какое-то время, характеризуется новым повышением частоты отказов в результате старения элементов системы и постепенной выработке ими своего ресурса. Этот период заканчивается предельным состоянием, когда для продолжения эксплуатации элементы системы должны быть заменены новыми.

Поскольку отказ элемента системы это вероятностная величина, то в начале работы системы наблюдается высокая вероятность отказов. Через какое-то время вероятность эта снижается и после некоторого периода эксплуатации опять резко растет. Интенсивность отказов как плотность распределения случайной величины это площадь этого графика. Если есть статистические данные, полученные в результате наблюдений или экспериментов, то можно легко прогнозировать величину риска на той или другой стадии эксплуатации системы.

Для получения числовых данных по вероятности отказов в любой заданный момент времени кривую вероятности отказов можно аппроксимировать, используя математическое подобие, законом нормального распределения случайных величин, поскольку вероятность отказа является величиной случайной. Это дает возможность аппроксимировать кривую отказов двумя кривыми закона нормального распределения Гауса с различными среднеквадратичными отклонениями.

Для теоретического определения вероятности отказа элементов системы, предлагается и рассматривается новый, дополнительный метод анализа на первой и второй стадии определения рисков, основанный на построении матрицы сочетаний состояний элементов системы .

Матрица сочетаний элементов системы водоочистки имеет вид при которой каждый элемент этой матрицы может находиться в двух состояниях «работа +» или «отказ – ». Состояния характеризуются их вероятностями. Так вероятности рабочего состояния системы будут PA+, PB+, PC+, PD+, PE+, а вероятности элементов в состоянии отказа соответственно PA-, PB-, PC-, PD-, PE-. В данной матрице есть всевозможные сочетания состояний элементов, что позволяет определить слабые соединения и наибольшие вероятности отказов. Используя матрицы сочетаний состояний можно проводить анализ опасностей и выявление последовательности опасных ситуаций, что дает возможность легко определить соединение элементов, которые дают наибольший риск при эксплуатации. Данный метод легко поддается компьютеризации, потому что

математический и алгоритмический аппарат обращения с матрицами находится в настоящее время на высоком уровне. Компьютерному анализу могут быть подвергнуты системы любой сложности, в то время, как использование применяемых методик приводит к огромным расходам времени и труда. В работе разработана блок-схема, алгоритм вычислений матрицы сочетаний и компьютерная программа. Методика использования матрицы сочетаний защищена патентом Украины.

Анализ любой системы водоочистки с помощью матрицы сочетаний рационально дополнить анализом с помощью “деревьев отказов”, что дает возможность обоснованно выявлять причинно – следственные связи последствий возможных отказов элемента системы

Для определения вероятностей возникновения техногенных рисков и связанных с ними экологических, необходимо сделать вероятностный анализ последовательности отказов блоков системы водоочистки, состояний в которых она может находиться – (состояние работоспособности – состояние выявленного отказа – состояние невыявленного отказа – состояние возобновления работоспособности системы – ремонт), вероятности отказов после ремонта или замены блоков.

Таким образом, пользуясь таким анализом, для любой системы водоочистки в теплоэнергетике в произвольный момент времени эксплуатации, можно определить риски связанные с закономерностями вероятностей отказов блоков, с закономерностями перехода системы из состояния в состояние и риски, связанные с изменениями вышеперечисленных закономерностей при замене блоков системы водоочистки, или её элементов.

При изучении **рисков класса 2** - критического, связанного с ошибками персонала, и с нештатной работой одного или нескольких блоков системы установлено, что вероятность частичных отказов может быть выше, чем вероятность полных отказов и поэтому частичным отказам, которые имеют место при работе системы водоочистки, следует уделить особенное внимание. Риски, которые возникают при частичных отказах блоков и элементов системы водоочистки изучались с помощью деревьев частичных отказов, которые дают возможность обоснованно выявлять причинно – следственные связи последствий возможных частичных отказов блоков и элементов системы. Причинно – следственные связи последствий ошибок оператора, могут быть сравнимы с частичными отказами. Вершиной дерева отказов, в любом случае, есть событие «выход некачественной воды».

Риски класса 1 возникают при штатной работе системы водоочистки из-за инерционности рабочих процессов, изменения входных параметров воды, поступающей на очистку, колебаний активности реагентов и от некоторых других причин.

Риски этого класса, невозможно исследовать обобщенно. Конкретно рассматриваются риски при использовании технологий коагуляции и электрокоагуляции, ионного обмена, электродиализа и дистилляции. Эти технологии широко используются в процессах водоочистки в теплоэнергетике.

Рассмотрение и анализ данных обстоятельств возможен только в том случае, если рабочие процессы, имеющие место при работе системы

водоочистки рассматривать, как звенья единой системы рабочего процесса, причем эта система может быть как замкнутой, так и разомкнутой. Таким образом, необходимо рассматривать звенья конкретной системы водоочистки, представляющие не блоки, а ее рабочие процессы.

Каждый из этих рабочих процессов описывается своим дифференциальным уравнением, которые потом переводятся в операторную форму и превращаются в передаточные функции, из которых формируется передаточная функция процесса водоочистки при использовании конкретной технологии. Для исследования динамики процесса методом математического моделирования решаются системы дифференциальных уравнений учитывая, что выход предыдущего звена является входом следующей. В результате получены данные, которые описывают изменение концентраций загрязнений в период процесса водоочистки технологии коагуляции.

Можно утверждать, что при штатной работе системы водоочистки, есть следующие виды рисков:

$P(A)$ – вероятность изменения концентрации загрязняющих веществ на выходе системы, в результате изменения концентрации на ее входе под действием погодных условий;

$P(B)$ - вероятность изменения концентрации загрязняющих веществ на выходе системы, в результате изменения активности работы блоков;

$P(C)$ - вероятность изменения концентрации загрязняющих веществ на выходе системы, в результате изменения температуры воды на ее входе под действием погодных условий.

Следовательно, общий риск будет:

$$P_{\text{общ}} = P(A+B+C) = P(A)+P(B)+P(C)-P(A \cdot B \cdot C)$$

Стратегия оптимального управления рисками должна начинаться на стадии проектирования системы водоочистки. В этом случае, можно минимизировать риск и оптимизировать расходы. При эксплуатации уже действующей системы водоочистки можно определить надежность элементов, определить критичность и достаточно точно подсчитать вероятность риска. Поскольку система водоочистки уже создана и расходы уже фактически сделаны, то при эксплуатации стоит сосредоточить внимание на таком экономическом показателе как технологическая себестоимость получения очищенной воды, сопоставляя ее с вероятными рисками.

При оптимальном управлении системой водоочистки, как целевую функцию можно выбирать минимальный риск или максимальную производительность в условиях приемлемого риска. Как ограничение целесообразно рассматривать технологическую себестоимость в целом или ее элементы – расходы на материалы, расходы на энергию, оплату труда и т.д.

Закономерности, которые описывают эти зависимости, могут быть получены статистически и экспериментально.

Стратегия организации оптимального управления может идти по двум направлениям:

1. Минимизация функции R при наличии ограничений по C (не выше определенного уровня) и по W (не ниже определенного уровня).

2. Максимизация функции W при наличии ограничений по C (не выше определенного уровня) и по R (не выше определенной границы).

Обе эти задачи можно решить методами известными из теории оптимального управления, например методом линейного программирования.

Для расчетов оптимальных значений целевой функции оптимального управления рисками уже работающей системы, создана компьютерная программа, которая дает возможность делать многочисленные вычисления и обрабатывать большой объем информации.

Экономический эффект был рассчитан на примере работы блоков установки электрокоагуляционной очистки, характеристики которой достаточно досконально изучены автором. Полученные данные показывают, что есть возможность получить экономию приблизительно 1,414 грн/м³. Показано, что доля рисков в системах водоподготовки и водоочистки ТЭС и ТЭЦ, в потерях которые несет вся Украина, составляет около 2,13 млрд. долл. Доказано, что минимизацию риска экономически целесообразно приводить к величине 1,8 – 1,9 %. В этом случае, можно получить равновесие между потерями из-за ухудшения экологического положения в результате высокого уровня риска и расходами на уменьшение этого уровня. Минимизация рисков до указанной величины, в масштабе Украины, уменьшает потери от экологического загрязнения до уровня 1,28 млрд. дол., то есть уменьшает расходы государства на 0,847 млрд. дол.

článok recenzoval:
doc. Ing. Miroslav Tomek, PhD.