

УДК 519.862.6

DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-47-52

## Формализация характеристик природно-технической системы для применения системного подхода к оценке ее экологического состояния

М. М. Горохов, доктор физико-математических наук, профессор,  
главный научный сотрудник ФКУ НИИ ФСИН России, Москва, Россия  
П. М. Кургузкин, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*Усиление внимания государства к проблеме обеспечения экологической безопасности связано с ростом антропогенного и техногенного воздействия на окружающую среду. Снижение этого воздействия является целью реализации программных документов федерального уровня. Достижение программных целей в экологической сфере связано с разработкой, планированием и реализацией комплекса природоохранных мероприятий различного уровня. Очевидно, что эффективность указанных мероприятий в значительной степени определяется полнотой и достоверностью текущей и прогнозной информации о состоянии окружающей среды на территориях, подверженных негативному воздействию (в первую очередь – загрязнению) со стороны промышленных предприятий, объектов хозяйственной и иной деятельности. С целью получения такой информации проводится экологический мониторинг территории. Рассмотрены аспекты воздействия техногенного объекта на окружающую среду в рамках единой природно-технической системы. Выделены два основных подхода к организации системы наблюдений за состоянием окружающей среды в зоне техногенного влияния. Целью первого является контроль выполнения установленных для объекта нормативов негативного воздействия на окружающую среду. Вторым подходом направлено на выявление и оценку негативных изменений в самой окружающей природной среде на ранней стадии их проявления. При этом экологический мониторинг окружающей среды выступает в роли канала обратной связи. Описаны следующие основные параметры, характеризующие взаимодействие техногенного объекта с окружающей средой: виды негативного воздействия; координаты источников негативного воздействия; перечни веществ-загрязнителей; интенсивность воздействия; вид природной среды; координаты пунктов мониторинга (точек отбора проб); перечень контролируемых показателей; текущие значения контролируемых показателей; наименование экосистем; координаты площадок биомониторинга. На основании выделенных параметров построена ER-модель экологического мониторинга территории природно-технической системы. Отмечено, что построенная ER-модель может являться основой для создания эффективной системы хранения и анализа мониторинговой информации, включая оценку экологического состояния территории природно-технической системы и прогноз его изменения.*

**Ключевые слова:** природно-техническая система, системный анализ, экологический мониторинг, элементы природно-технической системы, параметры взаимодействия техногенного объекта с окружающей средой, ER-модель экологического мониторинга.

### Введение

Усиление внимания государства к проблеме обеспечения экологической безопасности связано с ростом антропогенного и техногенного воздействия на окружающую среду. Снижение этого воздействия является целью реализации программных документов федерального уровня (Указ Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года»). Достижение программных целей в экологической сфере связано с разработкой, планированием и реализацией комплекса природоохранных мероприятий различного уровня. Очевидно, что эффективность указанных мероприятий в значительной степени определяется полнотой и достоверностью текущей и прогнозной информации о состоянии окружающей среды на территориях, подверженных негативному воздействию (в первую очередь – загрязнению) со стороны промышленных предприятий, объектов хозяйственной и иной деятельности. С целью получения такой информации проводится экологический мониторинг территории.

Перспективным подходом к созданию эффективной системы экологического мониторинга является анализ взаимовлияния техногенного объекта (объектов) и окружающей среды, включая природную среду, в рамках

природно-технической системы (ПТС) или природно-технического комплекса (ПТК) [1–7]. Под ПТС здесь и далее понимается совокупность техногенных объектов и объектов окружающей среды, расположенных на единой территории. Границы указанной территории, окружающей техногенный объект, определяются, как правило, границами зоны его негативного воздействия, что характерно, например, для случаев загрязнения окружающей среды выбросами в атмосферный воздух. Возможен и другой вариант ПТС, когда средой, воспринимающей негативное воздействие, является, например, акватория водоема или участок водотока, находящийся «внутри» урбанизированной или хозяйственно освоенной территории [8]. В этом случае границами ПТС являются границы водосборной площади водного объекта или его участка.

Целью исследования является подготовка и структурирование данных для реализации системного анализа экологического состояния природно-технической системы и построения прогноза его возможных изменений.

### Экологический мониторинг

Рассматривая экологический мониторинг как средство информационного обеспечения экологической безопасности ПТС, можно выделить два основных подхода к организации системы наблюдений

за состоянием окружающей среды в зоне техногенного влияния.

Основная цель первого подхода связана с контролем выполнения установленных для техногенного объекта нормативов негативного воздействия на окружающую среду. Классическими примерами такого мониторинга является регистрация уровней загрязнения атмосферного воздуха на границах санитарно-защитной зоны предприятия или загрязнения водных объектов в контрольных створах выше и ниже выхода сточных вод. Непревышение в контрольных точках предельно допустимых концентраций веществ, входящих в утвержденный перечень, позволяет сделать вывод о выполнении установленных предельных показателей по выбросам или сбросам. Описанный мониторинг организуется самим предприятием (производственный экологический мониторинг) в рамках производственного экологического контроля [9].

Учитывая, что предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в природных средах имеют преимущественно санитарно-гигиеническое «происхождение», можно утверждать, что производственный экологический мониторинг, так же как и нормирование негативного воздействия, имеют своей основной целью обеспечение экологической безопасности прежде всего населения, находящегося в пределах ПТС (обеспечение благоприятной экологической среды).

Целью второго подхода, наряду с оценкой экологической ситуации, является количественное выявление негативных изменений в самой окружающей природной среде на ранней стадии их проявления. Для достижения указанной цели, наряду с определением уровня загрязнения природных сред, в качестве индикаторов используются также определенные показатели состояния биоты (показатели состояния растительного и животного мира). При этом информативная и достоверная оценка изменения экологической ситуации связана с анализом многомерных массивов мониторинговой информации. В процессе такого анализа выявляются внутренние связи ПТС, определяются основные факторы, влияющие на состояние природной составляющей, разрабатываются адекватные критерии оценки этого состояния. Решение указанных задач невозможно без использования современных информационных технологий обработки, хранения и анализа данных экологического мониторинга. В последние годы это направление достаточно интенсивно развивается, что подтверждается ростом числа публикаций, связанных с разработкой информационных платформ и систем поддержки принятия решений на основе анализа данных экологического мониторинга [10–14]. Перспективы цифровой трансформации информационного обеспечения в сфере экологии и природопользования определены руководящими документами федерального уровня (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 08.12.2021 г. №3496р). Вместе с тем на сегодняшний день примеры использования современных информационных технологий в практической деятельности государственных и муниципаль-

ных природоохранных органов, а также специализированных организаций в сфере мониторинга окружающей среды не столь многочисленны.

На практике результаты мониторинговых исследований территорий и отдельных природных объектов, как правило, представляют собой массивы данных в формате XLS (XLSX), которые используются для выявления точек с максимальными концентрациями загрязнителей и последующего сравнения последних с предельно допустимыми концентрациями. К числу таких объектов на территории Удмуртской Республики относятся объекты уничтожения химического оружия (г. Камбарка, пгт Кизнер); Ижевское и Воткинское водохранилища; состояние атмосферного воздуха в г. Ижевске; реки Ува, Вала.

Отсутствие эффективных алгоритмов хранения, выборки и анализа данных мониторинга нивелирует информационную ценность накопленных результатов с точки зрения выявления упомянутых выше ведущих факторов, определяющих экологическое состояние ПТС.

В указанном выше распоряжении Правительства РФ одним из стратегических рисков реализации цифровой трансформации в сфере экологии и природопользования названо «отсутствие эффективных и апробированных технологий (в том числе алгоритмов комплексной обработки экологических данных, адекватных моделей оценки текущей экологической ситуации и прогноза по ее развитию), необходимых для мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды».

С учетом этого обстоятельства актуальность системного анализа процессов взаимовлияния техногенных объектов и окружающей среды в рамках ПТС на основе данных экологического мониторинга является весьма высокой.

#### **Взаимодействие элементов природно-технической системы**

Взаимодействие элементов, образующих ПТС, укрупненно можно представить в виде схемы, показанной на рис. 1. Как следует из рисунка, техногенный объект в процессе своего функционирования оказывает негативное влияние на окружающую среду. Прежде всего, это загрязнение абиотической составляющей (воздух, почва, поверхностные воды), которая, в свою очередь, ухудшает условия существования биоты: растительного и животного мира.

Загрязнение окружающей среды и реакция на него представителей растительного и животного мира является объектом экологического мониторинга. Последний, как внешняя процедура, выполняет роль канала обратной связи и ее количественной оценки. На основе результатов мониторинга планируются и реализуются мероприятия различного характера (технические, технологические, организационные, административные) с целью снижения уровня негативного воздействия на окружающую среду. Следует отметить, что эффективность указанных мероприятий в значительной степени зависит от выбранных методов и критериев оценки экологического состояния на основе результатов мониторинга.

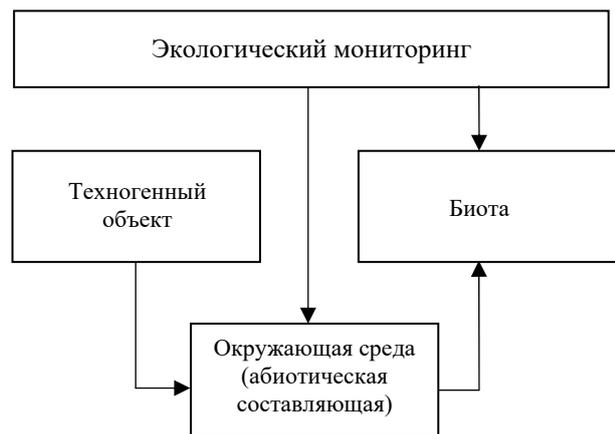


Рис. 1. Взаимодействие структурных элементов природно-технической системы

Fig. 1. Interaction of structural elements of natural-technical system

Рассматривая экологический аспект функционирования техногенного объекта, можно выделить следующие основные параметры, характеризующие его взаимодействие с окружающей средой.

*Виды негативного воздействия* на окружающую среду: выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросы в водные объекты, размещение отходов. Кроме этого, к физическим видам воздействия относятся также акустическое, радиационное и электромагнитное. Само изъятие природной территории под размещение промышленного или иного объекта уже является фактором, негативно влияющим на состояние исходных экосистем.

Следует подчеркнуть, что конкретный вид негативного воздействия не всегда влияет только на «соответствующую» ему природную среду. Например, если выпуск стоков в водные объекты загрязняет именно водные объекты, то выбросы загрязняющих веществ в атмосферу (за счет их переноса и осаждения) приводят к загрязнению как собственно воздушной среды, так и почвы, и водных объектов. Важно отметить, что принципы организации мониторинга загрязнения водных объектов в первом и втором случае могут существенно отличаться.

*Координаты источников негативного воздействия* являются важнейшими параметрами техногенного объекта. Координатная привязка источников дает возможность расчетной оценки загрязнения окружающей среды. Например, производить расчет рассеивания выбросов от источника (в случае единичного источника) или сводный расчет рассеивания (в случае нескольких источников).

*Перечни веществ-загрязнителей*, выделяемых в окружающую среду, определяются исходя из применяемого на техногенном объекте «технологического процесса» (процессов) в обобщенном смысле этого термина. Это может быть процесс переработки сырья, производства продукции, утилизации отходов и т. д. Например, технологический процесс коммунальной котельной заключается в сжигании определенного вида топлива для

повышения температуры теплоносителя и подачу последнего потребителям.

Информация о загрязняющих веществах, поступающих в окружающую среду, формируется при так называемой инвентаризации источников выбросов и сбросов на предприятии. Инвентаризация является начальным этапом разработки нормативов негативного воздействия: нормативов предельно допустимых выбросов, нормативов образования и лимитов размещения отходов. В настоящее время для объектов I (экологической) категории эти нормативы объединены в Комплексном экологическом разрешении (Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (ред. от 04.08.2023 г.) «Об охране окружающей среды»).

*Интенсивность воздействия* определяется режимами работы техногенного объекта, наличием сезонности. Простейшим примером может служить описанная выше работа котельной, выбросы которой максимальны в отопительный период. Применительно к выбросам и сбросам интенсивность воздействия измеряется в граммах в секунду или тоннах в год, то есть представляет собой величину расхода определенного вещества-загрязнителя в устье источника (трубы).

Рассматривая окружающую среду, как объект, воспринимающий негативное воздействие, можно выделить ее важнейшие с точки зрения системного анализа параметры.

*Вид природной среды.* В соответствии с организацией системы экологического мониторинга и для удобства анализа его результатов выделены следующие виды (объекты) окружающей природной среды: атмосферный воздух; снеговой покров (сезонно); почва; поверхностные воды и донные отложения; подземные воды. Следует отметить, что здесь и далее рассматриваются только природные среды, поскольку, как отмечено выше, экологическая безопасность селитебных территорий, которые могут входить в состав ПТС, обеспечивается установлением нормативов допустимых воздействий. Кроме того, мониторинг загрязнения воздушной, водной и почвенной сред в местах проживания населения является прерогативой органов Роспотребнадзора.

*Координаты пунктов мониторинга (точек пробоотбора)* образуют сеть точек, количество и расположение которых определяется индивидуально для каждой природной среды. В указанных точках производится отбор проб исследуемой среды с целью определения содержания (концентрации) загрязняющих веществ и количественных значений иных показателей, характеризующих ее загрязнение.

*Перечень контролируемых показателей* в основном коррелирует с перечнем веществ-загрязнителей, выделяемых техногенным объектом в окружающую среду. Вместе с тем перечень контролируемых показателей, как правило, несколько шире, поскольку может включать в себя, например, основные продукты трансформации веществ-загрязнителей в той или иной природной среде.

Текущие значения контролируемых показателей представляют собой числовые значения концентраций загрязняющих веществ в природных средах, а также другие показатели, характеризующие экологическое состояние последних.

Биота, состоящая из представителей растительного и животного мира на территории ПТС, выделена в отдельный объект природной среды. Это связано с тем, что представители растительного и животного мира являются, с одной стороны, наиболее чувствительными, а с другой – конечными индикаторами [15] последствий негативного воздействия на окружающую среду. Количественная оценка этих последствий осуществляется в процессе биомониторинга с использованием достаточно простых и, как следствие, малозатратных методов. С точки зрения системного анализа можно выделить следующие основные параметры объектов мониторинга растительного и животного мира (биомониторинга).

**Наименование экосистем.** В качестве объектов биомониторинга выбираются типовые (характерные) для исследуемой местности экосистемы. Так, например, при проведении биомониторинга в зоне влияния объекта по уничтожению химического оружия (ОУХО) в г. Камбарке Удмуртской Республики были выделены типовые для района исследований наземные и водные экосистемы, такие как лесные экосистемы (сосняки, ельники, дубравы) и пресноводные экосистемы (пойменные озера, мелководья рек) [16].

**Координаты площадок (ключевых участков).** Ключевые участки или площадки биомониторинга выбираются в пределах отдельных типовых экосистем. Координаты этих площадок играют важную роль при анализе, поскольку определяют взаимное расположение источников негативного воздействия и объектов природной среды, воспринимающей это воздействие.

**Перечень контролируемых показателей** включает в себя параметры экосистем, являющиеся маркерами их состояния. Так, например, в показатели состояния лесных экосистем в зоне влияния ОУХО в г. Камбарке включены такие, как число видов сосудистых растений, коэффициент состояния древостоя, индекс соотношения жизненных форм эпифитных лишайников, активность почвенной инвертазы и каталазы, а также ряд других показателей.

Текущие значения контролируемых показателей представляют собой числовые значения упомянутых выше контролируемых показателей, выраженные в абсолютных величинах, либо в виде отношения к эталонному значению конкретного показателя.

Следует подчеркнуть, что описанные выше параметры техногенного объекта и испытывающей его влияние окружающей природной среды изменяются во времени. Эти изменения выявляются в рамках мониторинговых исследований природных сред и биоты, выполняемых с определенной периодичностью. Таким образом, временной фактор играет важную роль в системном анализе

взаимодействия техногенного объекта и окружающей среды в рамках ПТС.

### Модели данных экологического мониторинга природно-технической системы

Для решения задач системного анализа состояния природно-технической системы необходимо сформировать структуру данных для хранения значений параметров ПТС и результатов наблюдений за изменением этих параметров за определенные периоды времени. При информационно-логическом проектировании данной структуры будем использовать подход с применением ER-модели [17, 18]. ER-модель экологического мониторинга природно-технической системы представлена на рис. 2.

Как показано на рисунке, ER-модель включает в себя следующие Entity-сущности, формирующие ПТС, мониторинг природной среды (абиотическая составляющая) и мониторинг биоты на территории ПТС: «Техническая система» (совокупность техногенных объектов) – промышленные предприятия, энергетические комплексы; предприятия по уничтожению отходов и т. п.; «Вещества» – вредные примеси, содержащиеся в выбросах и сбросах технической системы, воздействующие на природные системы; сущность «Природная система» (совокупность видов природной среды); сущность «Биота»; «Мониторинг биоты» – оценка состояния биоты под воздействием ПТС.

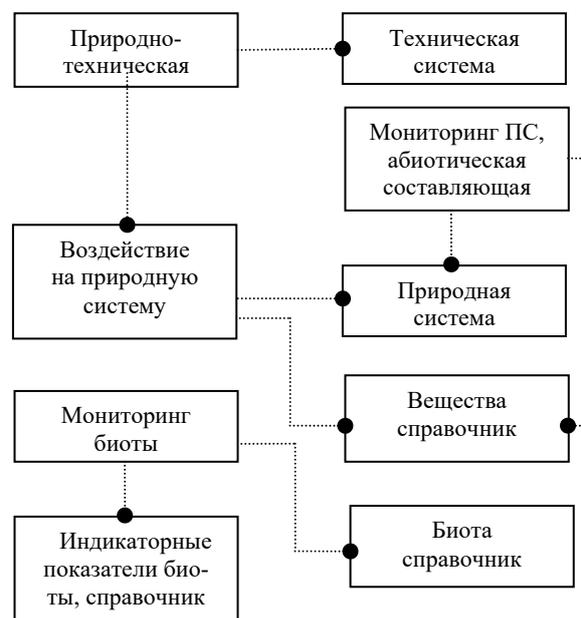


Рис. 2. ER-модель экологического мониторинга природно-технической системы

Fig. 2. ER model of environmental monitoring natural-technical system

### Выводы

Практическая оценка экологического состояния (загрязнения) территории в настоящее время, как правило, сводится к сравнению текущих концентраций загрязнителей в природных средах с их предельно допустимыми концентрациями. Отсутствие системного анализа взаимовлияния техногенных

объектов и природной среды снижает достоверность оценки и затрудняет прогноз изменения экологической ситуации на основе данных экологического мониторинга.

В настоящей статье предложен вариант подготовки и структурирования данных для реализации системного анализа, объектом которого является природно-техническая система, а предметом – оценка последствий негативного воздействия техногенного объекта на окружающую среду. Выявление и формализация основных параметров природно-технической системы является начальным этапом формирования системы хранения и оперативного анализа данных экологического мониторинга.

#### Библиографические ссылки

1. Ломтадзе В. Д. Словарь по инженерной экологии. СПб. : Изд-во СПбГИ, 1999. 360 с.
2. Экологическая энциклопедия : в 6 т. / редкол.: В. И. Данилов-Данильян, К. С. Лосев и др. Т. 5. П-С. М. : Энциклопедия, 2011. 448 с.
3. Суздалева А. Л. Создание управляемых природно-технических систем. М. : Энергия, 2016. 160 с.
4. Бондарик Г. К. Экологическая проблема и природно-технические системы. М. : Икар, 2004. 152 с.
5. Исаев С. В. Концепция природно-технических систем и ее использование при изучении антропогенной трансформации природной среды // Географический вестник. 2016. № 3 (38). С. 105–113.
6. Шарпов Р. В. Переход от технических к природно-техническим системам // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2012. № 2. С. 43–46.
7. Зенкевич М. Ю., Прокофьев В. Е., Янович К. В. Управляемая природно-техническая система как основа альтернативной стратегии охраны окружающей среды // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2021. № 2 (14). С. 131–139.
8. Рахуба А. В., Тихонова Л. Г. Формирование качества вод природно-технических систем на примере Саратовского водохранилища // Татищевские чтения: Актуальные проблемы науки и практики : материалы XVI Международной научно-практической конференции : в 2 т. Т. 1. 2019. С. 2–4.
9. Сорокин Н. Д. Производственный экологический мониторинг // Экология производства. 2016. № 5. С. 76–84.
10. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гилроэкология: методы системной идентификации. Тольяти : ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
11. Угольницкий Г. А., Усов А. Б. Информационно-аналитическая система управления эколого-экономическими объектами // Известия РАН. Теория и системы управления. 2008. № 2. С. 168–176.
12. Информационно-аналитическая система экологического мониторинга. URL: <http://www.airsoft-bit.ru>.
13. Янников И. М., Телегина М. В., Галиакберов Р. А. Автоматизированная система классификации экологических ситуаций на основе анализа состояний экологических объектов // Интеллектуальные системы в производстве. 2022. Т. 20, № 2. С. 96–105.
14. Скатков А. В., Доронина Ю. В., Брюховицкий А. А. Сценарный подход к управлению мониторинговыми процессами природно-технических систем // Системы контроля окружающей среды. 2023. № 1 (51). С. 108–117.
15. Биоиндикаторы и биотестсистемы в оценке окружающей среды техногенных территорий: монография

/ под общ. ред. Т. Я. Ашихминой и Н. М. Алалыкиной. Киров : О-краткое, 2008. 208 с.

16. Биологический мониторинг в зоне влияния Камбарского завода по уничтожению химического оружия: опыт организации и реализации: монография / под ред. Б. Г. Котегова. Ижевск : Удмуртский университет, 2013. 178 с.

17. Chen P.P.-S. The Entity-Relationship Model - Toward a Unified View of Data // ACM Transactions on Database Systems. March, 1976. Vol. 1, № 1. P. 9-36.

18. Peter Pin-Shan Chen. The Entity-Relationship Model-Toward a Unified View of Data. // ACM Transactions on Database Systems, Volume 1, Number 1, 1976.

#### References

1. Lomtadze V.D. *Slovar' po inzhenernoi ekologii* [Dictionary of engineering ecology]. Saint Petersburg: Publishing house. SPbGI, 1999. 360 p. (in Russ.).
2. *Ekologicheskaya entsiklopediya* [Ecological Encyclopedia]: In 6 volumes / Editorial Board: Danilov-Danilyan V.I. Losev K.S. et al. T. 5. P-S. Moscow: Encyclopedia Publ., 2011. 448 p. (in Russ.).
3. Suzdaleva A.L. *Sozdanie upravlyaemykh prirodno-tekhnicheskikh sistem* [Creation of controlled natural-technical systems]. Moscow: Energia Publ., 2016. 160 p. (in Russ.).
4. Bondarik G.K. *Ekologicheskaya problema i prirodno-tekhnicheskie sistemy* [Ecological problem and natural-technical systems]. Moscow: Ikar Publ., 2004. 152 p. (in Russ.).
5. Isaev S.V. [The concept of natural-technical systems and its use in the study of anthropogenic transformation of the natural environment]. *Geographical Bulletin*. 2016. No. 3. Pp. 105-113 (in Russ.).
6. Sharapov R.V. [Transition from technical to natural-technical systems]. *Mechanical engineering and life safety*. 2012. No. 2. Pp. 43-46 (in Russ.).
7. Zenkevich M.Yu., Prokofiev V.E., Yanovich K.V. [Controlled natural-technical system as the basis of an alternative strategy for environmental protection]. *Current problems of military scientific research*. 2021. No. 2. Pp. 131-139 (in Russ.).
8. Rakhuba A.V., Tikhonova L.G. *Formirovanie kachestva vod prirodno-tekhnicheskikh sistem na primere Saratovskogo vodokhranilishcha* [Formation of water quality of natural-technical systems using the example of the Saratov reservoir]. *Tatishchevskie chteniya: Aktual'nye problemy nauki i praktiki : materialy XVI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Proc. Tatishchev Readings: Current problems of science and practice. Materials of the XVI International Scientific and Practical Conference]: in 2 volumes, Vol. 1. 2019. Pp. 2-4 (in Russ.).
9. Sorokin N.D. [Industrial environmental monitoring]. *Ecology of production*. 2016. No. 5. Pp. 76-84 (in Russ.).
10. Shitikov V.K., Rosenberg G.S., Zinchenko T.D. *Kolichestvennaya gilroekologiya: metody sistemnoi identifikatsii* [Quantitative hygroecology: methods of system identification]. Togliati: IEVB RAS, 2003. 463 p. (in Russ.).
11. Ugolnitsky G.A., Usov A.B. [Information and analytical system for managing environmental and economic objects]. *Izvestiya RAS. Theory and control systems*. 2008. No. 2. Pp. 168-176 (in Russ.).
12. *Informatsionno-analiticheskaya sistema ekologicheskogo monitoringa* [Information and analytical system of environmental monitoring]. Available at: <http://www.airsoft-bit.ru>.

13. Yannikov I.M., Telegina M.V., Galiakberov R.A. [Automated system for classifying environmental situations based on the analysis of the states of environmental objects]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2022. Vol. 20, no. 2. Pp. 96-105 (in Russ.).

14. Skatkov A.V., Doronina Yu.V., Bryukhovitsky A.A. [Scenario approach to managing monitoring processes of natural-technical systems]. *Environmental Control Systems*. 2023. No. 1. Pp. 108-117 (in Russ.).

15. *Bioindikatory i biotestsistemy v otsenke okruzhayushchei sredy tekhnogennykh territorii* [Bioindicators and biotest systems in assessing the environment of technogenic territories: monograph] / edited by. ed. T. Ya. Ashikhmina and N. M. Alalykina. Kirov: O-brief, 2008. 208 p. (in Russ.).

16. *Biologicheskii monitoring v zone vliyaniya Kambarского завода по уничтожению химического оружия: опыт организации и реализации: монография* [Biological monitoring in the zone of influence of the Kambar plant for the destruction of chemical weapons: experience of organization and implementation: monograph] / ed. B. G. Kotegova. Izhevsk : Udmurt University Publishing House, 2013. 178 p. (in Russ.).

17. Chen P.P.-S. The Entity-Relationship Model - Toward a Unified View of Data. In *ACM Transactions on Database Systems*. March, 1976. Vol. 1, No. 1. P. 9-36.

18. Peter Pin-Shan Chen. The Entity-Relationship Model-Toward a Unified View of Data. In *ACM Transactions on Database Systems*, Volume 1, Number 1, 1976.

\* \* \*

### Formalization of Natural-Technical System Characteristics for System Approach to Assess its Ecological State

*M. M. Gorokhov*, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Chief Researcher of the Federal Institution Research Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia, Moscow, Russia

*P. M. Kurguzkin*, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

*The increased attention of the State to the problem of environmental safety is associated with the growth of anthropogenic and man-made impacts on the environment. Reducing this impact is the goal of implementing federal-level policy documents. The achievement of program goals in the sphere of environmental is associated with the development, planning and implementation of a set of environmental measures at various levels. It is obvious that the effectiveness of these measures is largely determined by the completeness and reliability of current and forecast information on the state of the environment in areas subject to negative impacts (primarily pollution) from industrial enterprises, economic and other activities. In order to obtain such information, environmental monitoring of the territory is carried out. The aspects of the impact of a man-made object on the environment within the framework of a unified natural and technical system are considered. Two main approaches to the organization of the monitoring system for the state of the environment in the zone of technogenic influence are identified. The purpose of the first one is to monitor the implementation of the negative environmental impact standards established for the given facility. The second approach is aimed at identifying and assessing negative changes in the natural environment itself at an early stage of their occurring. At the same time, environmental monitoring acts as a feedback channel. The following main parameters characterizing the interaction of a technogenic object with the environment are described: types of negative impact; coordinates of sources of negative impact; lists of pollutants; intensity of exposure; type of natural environment; coordinates of monitoring points (sampling points); list of controlled indicators; current values of controlled indicators; name of ecosystems; coordinates of biomonitoring sites. Based on the selected parameters, an ER-model of environmental monitoring of the territory of the natural-technical system is developed. It is noted that the built-in ER-model can be the basis for creating an effective system for storing and analyzing monitoring information, including an assessment of the ecological state of the territory of the natural-technical system and a forecast of its changes.*

**Keywords:** natural-technical system, system analysis, environmental monitoring, elements of a natural-technical system, parameters of interaction of a man-made object with the environment, ER-model of environmental monitoring.

Получено: 13.10.23

#### Образец цитирования

*Горохов М. М., Кургузкин П. М.* Формализация характеристик природно-технической системы для применения системного подхода к оценке ее экологического состояния // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2023. Т. 21, № 4. С. 47-52. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-47-52.

#### For Citation

Gorokhov M.M., Kurguzkin P.M. [Formalization of Natural-Technical System Characteristics for System Approach to Assess its Ecological State]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2023, vol. 21, no. 4, pp. 47-52. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-47-52.