

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ЗАЩИТЫ ТЕРРИТОРИИ ТОПЛИВНО- ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ОТ ПОДТОПЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Н. А. Жильникова^а, канд. техн. наук, доцент

В. В. Алексеев^б, доктор техн. наук, профессор

И. А. Шишкин^в, канд. техн. наук, руководитель компьютерного экологического центра

^аСанкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, РФ

^бСанкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, РФ

^вСанкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, Санкт-Петербург, РФ

Постановка проблемы: для создания эффективной системы мониторинга состояния технических сооружений инженерной защиты территории от подтопления для топливно-энергетического комплекса необходима организация алгоритмического обеспечения информационно-измерительных систем. **Методы:** геоинформационное моделирование, математические методы аппроксимации и методы метрологического анализа. **Результаты:** разработана структура представления инженерных сооружений защиты территории от подтопления в виде объектов геоинформационных систем, что позволяет реализовать анализ и обработку данных средствами геоинформационной системы, автоматизировать проведение мониторинга в рамках проекта геоинформационной системы оценки состояния инженерных сооружений защиты территории от подтопления для топливно-энергетического комплекса. Представлен алгоритм формирования простых и интегральных нормированных оценок состояния территорий и инженерных сооружений защиты территории от подтопления по результатам информационно-измерительных систем мониторинга. Единство измерений достигается при организации множества оценок в виде нормированного параметрического пространства с обязательным формированием характеристик достоверности (неопределенности) для каждого значения контролируемых параметров. **Практическая значимость:** предложенные алгоритм и методика позволяют вести оперативный анализ характеристик по результатам контроля, принимать оперативное решение при проведении мероприятий технического обслуживания инженерных сооружений защиты территории от подтопления, решать задачи наиболее эффективного вложения средств на ремонт и реконструкцию инженерных сооружений.

Ключевые слова — измерительная система, технические сооружения, контрольные измерения, геоинформационная подсистема, сложная оценка, оценка риска.

Введение

Одной из важных задач обеспечения безопасности функционирования топливно-энергетических комплексов является создание системы мониторинга и оценки состояния технических сооружений системы инженерной защиты территории от подтопления (СИЗТП), контролирующей и сопровождающей все работы жизненного цикла таких сооружений. Информационная организация информационно-измерительной системы (ИИС) мониторинга и оценки состояния технических сооружений СИЗТП на базе геоинформационной технологии включает измерительную и геоинформационную подсистемы. Первая состоит из аппаратно-алгоритмического и нормативно-методического обеспечения и направлена на получение исходной информации о состоянии контролируемого объекта, а также обеспечение ввода полученных результатов в базу данных геоинформационной подсистемы. Вторая представляет собой программную среду, которая поддер-

живает работу с базами данных, реализует алгоритмическое обеспечение обработки и анализа данных, получения простых и сложных оценок, характеристик объектов, обеспечивает принятие управляющих решений.

Основные положения, определяющие решение рассматриваемой проблемы

Одной из важнейших задач развивающихся территорий, особенно в районе крупных топливно-энергетических комплексов (ТЭК), является создание и поддержание заданного водного режима, обеспечение нормативного водного баланса в различных ситуациях, в условиях природных и техногенных воздействий [1].

Водный баланс определяет условия существования и развития территориальной системы по характеристикам створов. Створ представляет собой поперечное сечение водотока (канала), в котором проводятся наблюдения за уровнями воды и эпизодические измерения расходов воды. По

характеристикам створа (некоторому множеству параметров) оценивается потенциальная подтопленность территории в зависимости от степени опасности и уязвимости анализируемой территории.

Использование географических информационных систем (ГИС) как систем, предназначенных для сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных, позволяет эффективно решать задачи поддержки принятия управляющих решений [2]. ГИС-технологии являются удобным инструментом при решении задач районирования территорий, оценки состояния территории, описания системы водопользования и водного баланса территории, ее свойств в зависимости от целевого назначения и применения. ГИС имеет развитые средства, позволяющие: 1) формировать модель системы защиты территорий от подтопления, которая описывает структуру системы и входящие в ее состав инженерные сооружения; 2) предоставлять характеристики сооружений в виде геоданных; 3) получать результаты контроля состояния инженерных сооружений (ИС), которые могут являться многопараметрическими сложными характеристиками; 4) осуществлять прогнозирование изменения характеристик состояния ИС на основании сформированных моделей [3].

Формирование ГИС-проектов оценки состояния территорий и ИС СИЗТП на основе данных контроля и инвентаризационных обследований с использованием ИИС мониторинга проводится путем представления структуры СИЗТП в ГИС-технологии в целях обеспечения автоматического определения и анализа характеристик ИС [4–6].

Формирование картографической модели территории в соответствующем масштабе с помощью ГИС-технологий обеспечивает отображение гидрологических условий, существующих и проектируемых техногенных нагрузок, специфичных для ТЭК.

Одни из основных преимуществ ГИС: наглядность, быстрый и простой доступ к данным и их обновление — позволяют, группируя и сравнивая данные, получать оценки, отображать динамику развития ситуаций, лучше понимать ситуацию, определять тенденции и особенности, выявлять наиболее вероятные последствия принятых решений и действий на этапе принятия решений.

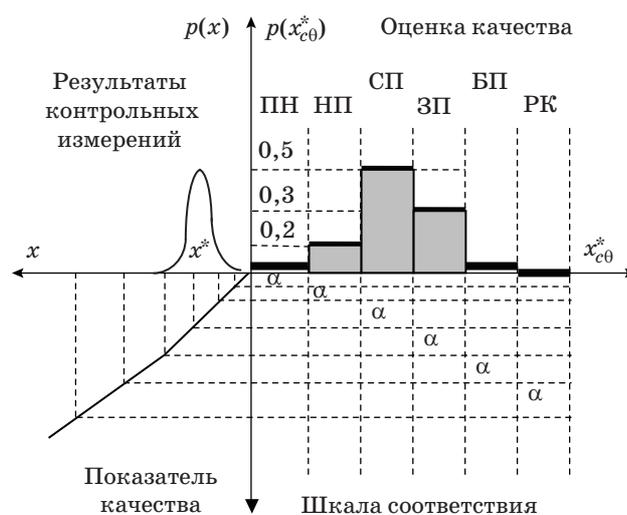
Таким образом, для использования преимуществ ГИС-технологии при решении задач оценки состояния ИС СИЗТП и поддержки принятия управляющих решений необходимо определить принципы районирования территорий, основы моделирования ИС, разработать алгоритмическое и методическое обеспечение получения оценок состояния ИС на ГИС-основе, формирования ГИС-проектов для автоматизированного решения перечисленных задач.

Получение оценок состояния ИС СИЗТП по результатам контрольных измерений

Состояние ИС СИЗТП характеризуется множеством физических величин. Результат контрольного измерения представляет собой числовое значение контролируемого параметра в единицах представления физической величины. Степень достоверности (неопределенности) получаемых результатов контроля определяется суммарной погрешностью полученной оценки $f(x^*, \sigma)$. Так как закон распределения погрешности в большинстве случаев имеет симметричную форму, доверительный интервал оценки может быть определен как $x^* \pm k\sigma$ [7].

Рассмотрим возможный вариант нормирования контрольных измерений как оценки состояния ИС в виде качественной шкалы. Качественные отношения представим в виде нормированной шкалы с равными отрезками и условными отношениями: 0–1 — повреждений нет (ПН), 1–2 — незначительные повреждения (НП), 2–3 — средние повреждения (СП), 3–4 — значительные повреждения (ЗП), 4–5 — большие повреждения (БП), 5–6 — канал разрушен (КР).

Значение контролируемой величины на нормированной шкале качественных отношений может быть определено как вероятность нахождения результата контрольного измерения в соответствующем интервале показателей. На рисунке приведен пример представления результатов измерений x^* в качественной шкале для случая, когда результат контрольных измерений имеет следующие метрологические характеристики: $x^* = x^* \pm k\sigma = x^* \pm 0,5x^*$.



■ Плоскость соответствия результата контрольных измерений (одно измерение с известными метрологическими характеристиками) и нормированных значений качественной оценки

Вероятность принятия того или иного значения качества может быть определена как

$$p_i = \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x^*) dx = 0,01 \div 6.$$

Результаты интегрирования имеют значения (см. рисунок):

$$p_1 = \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x^*) dx = 0,01; \quad p_2 = \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x^*) dx = 0,18;$$

$$p_3 = \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x^*) dx = 0,5; \quad p_4 = \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x^*) dx = 0,3;$$

$$p_5 = \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x^*) dx = 0,01; \quad p_6 = \int_{x_{i-1}}^{x_i} f(x^*) dx = 0,00.$$

Таким образом, любой результат измерения может быть сведен к нормированной оценке состояния контролируемого объекта. В итоге будет получено множество оценок контрольных измерений параметров состояния сооружений $X_c = \{x_{c1}^*, x_{c2}^*, \dots, x_{c\theta}^*, \dots, x_{c\Theta}^*\}$, где $\theta = 1; \Theta$ — индексы контролируемых параметров (физических, гидродинамических, биологических и др.).

Алгоритм формирования ГИС-проекта защиты территории ТЭК от подтопления и поддержки принятия эффективных решений

Наряду с экспертной оценкой состояния территорий, выше рассмотрен основной этап получения оценок опасности от подтопления по результатам контрольных измерений для критических створов (инженерных сооружений) на основе разработанного принципа районирования территорий и методического обеспечения получения оценок, представленных в работе [8]. ГИС-технология позволяет автоматизировать процесс оценивания, систематизацию результатов анализа полученных оценок и представление этих результатов в удобном виде для специалиста, принимающего решение по дальнейшей эксплуатации ИС СИЗТП [9].

Рассмотрим методику формирования ГИС-проекта, направленного на определение оценок и ранжирование ИС по степени опасности и поддержку принятия решений. Рассматриваемый ГИС-проект опирается на результаты, которые представляют собой набор створов, упорядоченных по степени опасности, и геоданные, которые могут быть представлены в виде слоев ГИС [10].

Проект ГИС ранжирования ИС по степени опасности включает следующие этапы.

1. Формирование географической основы для решения поставленной в техническом задании задачи.
2. Реализация ГИС-проекта и использование в качестве базы его результатов.
3. Определение для каждого опасного створа территории зоны подтопления и районирование территории подтопления по степени опасности от подтопления.
4. Получение для каждого опасного створа оценок опасности подтопления, уязвимости подтопления и риска от подтопления для соответствующих территорий.
5. Ранжирование створов по степени риска подтопления подпадающих под их воздействие территорий.
6. Оценка объема работ (затрат), необходимых для восстановления проектных характеристик канала, и эффективности их проведения.
7. Оценка объемов возможного ущерба в случае подтопления территории из-за нарушения функционирования канала.
8. Ранжирование сооружений по степени опасности (возможному ущербу от затопления территорий).
9. Решение задачи наиболее эффективного вложения средств на ремонт и реконструкцию инженерных сооружений.
10. Предоставление результатов анализа в ранжированном виде.

Заключение

Предложен алгоритм формирования простых и интегральных нормированных оценок состояния территорий и ИС СИЗТП по результатам ИИС мониторинга. Единство измерений достигается при организации множества оценок в виде нормированного параметрического пространства с обязательным формированием характеристик достоверности (неопределенности) для каждого значения контролируемых параметров.

На основании предложенных алгоритма и методики построения ГИС-проекта защиты территории ТЭК от подтопления специалист получает возможность вести оперативный анализ характеристик по результатам контроля, быстро принимать решение при проведении мероприятий технического обслуживания ИС СЗТП, определять области наиболее эффективного вложения средств при ремонте и реконструкции инженерных сооружений.

Литература

1. Жильникова Н. А. Эколого-технологическое нормирование нагрузки на окружающую среду на предприятиях радиоэлектроники // Радиопромышленность. 2014. Вып. 2. С. 112–118.
2. Бескид П. П., Куракина Н. И., Орлова Н. В. Геоинформационные системы и технологии. — СПб.: РГГМУ, 2010. — 173 с.
3. Чусов А. Н., Антонов И. В., Шишкин А. И. Методология нормирования антропогенного воздействия на основе геоинформационной моделирующей системы // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 3(18). С. 25–37.
4. Шишкин И. А. Оценка состояния подтопляемых территорий на ГИС-основе // Сб. материалов Биосфорума. Т. 2. СПб.: Любавич, 2012. С. 301–305.
5. Алексеев В. В., Орлова Н. В., Шишкин И. А., Гусева Е. С., Жигновская А. С. ГИС мониторинга состояния инженерных сооружений защиты территории от подтопления. — СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. — 27 с.
6. Алексеев В. В., Шишкин И. А. Геоинформационная система оценки состояния технических сооружений защиты территории от подтопления // Вестник ТОГУ. 2012. № 4(27). С. 69–78.
7. Shishkin I., Antonov I., Epifanov A. Geoinformation Modeling Complex for Rationing of Technogenic Loading // Environmental Protection of Urban and Suburban Settlements: Proc. of XVII Intern. Ecol-conference, Novosad, Serbia, 2013. P. 299–306.
8. Алексеев В. В., Шишкин И. А. ИИС мониторинга состояния системы инженерной защиты территории от подтопления на базе ГИС. Ч. 2: Получение оценок, поддержка принятия управленческих решений // Приборы. 2012. № 6. С. 28–37.
9. Семенова Е. Г., Жильникова Н. А., Милова В. М. Системотехнический принцип повышения эффективности функционирования производственных систем // Вопросы радиоэлектроники. Радиолокационная техника (РЛТ). 2014. № 4. С. 125–130.
10. Орлова Н. В. Алгоритмическое обеспечение геоинформационной системы оценки состояния природного объекта: дис. ... канд. техн. наук /СПбГЭТУ, 2010. — 122 с.

UDC 504.064.3

doi:10.15217/issn1684-8853.2015.6.93

Geoinformational Information-Measuring System for Flood Protection Monitoring of Fuel-Power Complex Territory

Zhilnikova N. A.^a, PhD, Tech., Associate Professor, nataliazhilnikova@gmail.comAlekseev V. A.^b, Dr. Sc., Tech., Professor, vvalekseyev@mail.ruShishkin I. A.^c, PhD, Tech., Head of Ecological Computer Center, _ilia@mail.ru^aSaint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67, B. Morskaia St., 190000, Saint-Petersburg, Russian Federation^bSaint-Petersburg State Electrotechnical University «LETI», 5, Prof. Popov St., 197376, Saint-Petersburg, Russian Federation^cSaint-Petersburg State Technological University of Plant Polymers, 4, Ivan Chernykh St., 198095, Saint-Petersburg, Russian Federation

Purpose: To create an efficient system of monitoring the state of flood-protection constructions for a fuel-power complex, the respective data-measuring systems need a proper algorithmic provision. **Methods:** The research used geoinformational simulation, mathematical approximation and meteorological analysis. **Results:** A structure has been developed to represent the engineering constructions protecting the area from flooding as geoinformational system objects. This allows you to analyze and process the data treatment by the tools of a geoinformational system and to provide automatic monitoring. An algorithm is proposed for forming simple and integral normed assessments of the state of territories and flood-protection engineering plants by the results of control measurements. Traceability is provided by organizing a plurality of estimates as a normalized parametric space with obligatory characteristics of reliability (uncertainty) for each value of the monitored parameters. **Practical relevance:** The proposed algorithm and methods for developing a GIS project can help to promptly analyze the characteristics by the results of the monitoring, to make quick decisions during the maintenance activities at flood-protection engineering plants, and to solve the problems of efficient investment for their maintenance and reconstruction.

Keywords — Measuring System, Engineering Construction, Control Measurements, Geoinformational Subsystem, Complex Estimation, Risk Assessment.

References

1. Zhil'nikova N. A. Ecological Technological Standardization of Loading on Environment by Enterprises of Radio Electronics. *Radiopromyshlennost'*, 2014, iss. 2, pp. 112–118 (In Russian).
2. Beskid P. P., Kurakina N. I., Orlova N. V. *Geoinformatsionnye sistemy i tekhnologii* [Geoinformation Systems and Technologies]. Saint-Petersburg, Rossiiskii gosudarstvennyi gidrometeorologicheskii universitet Publ., 2010. 173 p. (In Russian).

3. Chusov A. N., Antonov I. V., Shishkin A. I. Methodology of Anthropogenic Impact on Basis of Geographic Information Modeling System. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdanii i sooruzhenii*, 2014, no. 3(18), pp. 25–37 (In Russian).
4. Shishkin I. A. Assessment of the State Flooded Territories Based on GIS. *Sbornik materialov Bios foruma*, Saint-Petersburg, Liubavich Publ., 2012, vol. 2, pp. 301–305 (In Russian).
5. Alekseev V. V., Orlova N. V., Shishkin I. A., Guseva E. S., Zhignovskaia A. S. *GIS monitoringa sostoiianiia inzhernykh sooruzhenii zashchity territorii ot podtopleniia* [GIS for Monitoring the State of Engineering Constructions to Protect the Area from Flooding]. Saint-Peterburg, Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi elektrotekhnicheskii universitet «LETI» Publ., 2012. 27 p. (In Russian).
6. Alekseev V. V., Shishkin I. A. Geoinformation System Assessment of the Technical Installations Protect the Territory from Flooding. *Vestnik TOGU*, 2012, no. 4(27), pp. 69–78 (In Russian).
7. Shishkin I., Antonov I., Epifanov A. Geoinformation Modeling Complex for Rationing of Technogenic Loading. *Proc. XVII Intern. Eco-conference "Environmental Protection of Urban and Suburban Settlements"*, Novosad, Serbia, 2013, pp. 299–306.
8. Alekseev V. V., Shishkin I. A. IMS System Monitoring Engineering Protect a Territory from Flooding Based on GIS. Part 2. Estimation, Support of Management Decision Making. *Pribory*, 2012, no. 6, pp. 28–37 (In Russian).
9. Semenova E. G., Zhil'nikova N. A., Milova V. M. Systems Engineering Principle of Increasing the Efficiency of Production Systems. *Voprosy radioelektroniki. Radiolokatsionnaia tekhnika (RLT)*, 2014, no. 4, pp. 125–130 (In Russian).
10. Orlova N. V. *Algoritmicheskoe obespechenie geoinformatsionnoi sistemy otsenki sostoiianiia prirodnogo ob'ekta*. Dis. kand. tehn. nauk [Algorithmic Support Geographic Information System Assess the Status of the Object. PhD tech. sci. diss.]. Saint-Petersburg, Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi elektrotekhnicheskii universitet «LETI», 2010. 122 p. (In Russian).

**Научный журнал
«ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ»
выходит каждые два месяца.**

Стоимость годовой подписки (6 номеров) для подписчиков России — 4800 рублей, для подписчиков стран СНГ — 5400 рублей, включая НДС 18%, таможенные и почтовые расходы.

Подписку на печатную версию журнала можно оформить в любом отделении связи по каталогу:

«Роспечать»: № 48060 — годовой индекс, № 15385 — полугодовой индекс,

а также через посредство подписных агентств:

«Северо-Западное агентство „Прессинформ“»

Санкт-Петербург, тел.: (812) 335-97-51, 337-23-05,

эл. почта: press@crp.spb.ru, zajavka@crp.spb.ru,

сайт: <http://www.pinform.spb.ru>

«МК-Периодика» (РФ + 90 стран)

Москва, тел.: (495) 681-91-37, 681-87-47,

эл. почта: export@periodicals.ru, сайт: <http://www.periodicals.ru>

«Информнаука» (РФ + ближнее и дальнее зарубежье)

Москва, тел.: (495) 787-38-73, эл. почта: informnauka3@yandex.ru,

сайт: <http://www.informnauka.com>

«Деловая пресса»

Москва, тел.: (495) 962-11-11, эл. почта: podpiska@delpress.ru,

сайт: <http://delpress.ru/contacts.html>

«Коммерсант-Курьер»

Казань, тел.: (843) 291-09-99, 291-09-47, эл. почта: kazan@komcur.ru,

сайт: <http://www.komcur.ru/contacts/kazan/>

«Урал-Пресс» (филиалы в 40 городах РФ)

Сайт: <http://www.ural-press.ru>

«Идея» (Украина)

Сайт: <http://idea.com.ua>

«ВТЛ» (Узбекистан)

Сайт: <http://btl.sk.uz/ru/cat17.html> и др.

На электронную версию нашего журнала (все выпуски, годовая подписка, один выпуск, одна статья)

вы можете подписаться на сайтах НЭБ: <http://elibrary.ru>;

РУКОНТ: <http://www.rucont.ru>; ИВИС: <http://www.ivis.ru/>

Полнотекстовые версии журнала за 2002–2014 гг.

в свободном доступе на сайте журнала (<http://www.i-us.ru>),

НЭБ (<http://www.elibrary.ru>)

и Киберленинки (<http://cyberleninka.ru/>

journal/n/informatsionno-upravlyayuschiesistemy).