

А. В. Черняев, д-р техн. наук, проф., e-mail: alex_v_ch@mail.ru,
С. И. Горбачев, канд. техн. наук, доц., e-mail: gor-sergey1@yandex.ru,

М. А. Михаленко, аспирант, e-mail: maximabdul@mail.ru,

ФГБОУ ВО "Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)",

Е. В. Метелкин, д-р физ.-мат. наук, проф., e-mail: sitech47@mail.ru,
Российский государственный социологический университет

Комплексное моделирование последствий аварийных разливов нефти в малых водотоках для информационной системы их прогнозирования

Рассмотрены вопросы комплексного моделирования аварийных разливов нефти в малых реках для информационных систем прогнозирования последствий нефтяных загрязнений.

***Ключевые слова:** разлив нефти, математическое моделирование, экспертные системы, техногенная безопасность*

Введение

Задача моделирования последствий аварийных разливов нефти несомненно является весьма важной и актуальной. Для нашей страны актуальным является и решение этой задачи для водных объектов, в частности, областей малых водотоков. Создание информационных систем прогнозирования чрезвычайных ситуаций требует развития, согласования и адаптации моделей для их успешной интеграции в эти системы.

В российской нормативно-технической документации представлен ряд методик, позволяющих проводить расчеты распространения и трансформации аварийных нефтяных разливов в условиях малых водотоков. Так, в справочнике [1] описан алгоритм расчета массы нефти, впитавшейся в землю, массы испарившихся летучих низкомолекулярных углеводородов нефти, массы растворенной или эмульсифицированной нефти, загрязняющей водоток. В методике [2] показан алгоритм расчета следующих параметров: массы разлившихся нефтепродуктов, площади разлива и массы испарившихся углеводородов в зависимости от времени с момента аварии. Эта же методика позволяет определять объем нефти, осевший на береговой поверхности русла водотока.

Достаточно полный анализ имеющихся моделей приведен в диссертации А. А. Павлова [3]. Дальнейшее развитие предложенных методов и моделей определяется, в первую очередь, их интеграцией в комплексные интеллектуальные информационные системы прогнозиро-

вания последствий чрезвычайных ситуаций, в частности, при создании систем, основанных на знаниях (СОЗ). Сложность реального построения таких систем не подлежит сомнению. Одним из перспективных подходов является применение в качестве базового компонента модели виртуальной экспертной системы (ВЭС). Такие системы отличает открытость, масштабируемость и гибкость, что определяет перспективность их применения при создании интеллектуальных информационных систем прогнозирования последствий аварийных разливов нефти.

Целью настоящей работы являлось проведение анализа структуры процессов комплексного моделирования последствий аварийных разливов нефти в малых водотоках при построении информационных систем их прогнозирования.

Структура комплексной модели

Предъявляемые к математической модели распространения нефтяного загрязнения базовые требования хорошо известны [4, 5]. Модель должна позволять:

- давать прогнозные оценки распространения нефтяных загрязнений;
- определять местоположения возможных источников загрязнения путем проведения анализа движения загрязнения;
- давать прогнозную оценку процессов преобразования загрязнения;

- оценивать количество нефти, осаждающейся на береговую поверхность.

Использование физических моделей процессов распространения и трансформации нефтяного разлива [6, 7], а также осаждения нефти на береговую растительность [8] позволяет дополнительно оценивать следующие параметры:

- площадь разлива от времени;
- объем испарившейся, диспергированной, эмульсифицированной, осевшей на дно и на береговую поверхность нефти, а также водно-нефтяной эмульсии от времени;
- промежутки времени, через которые нефтяное загрязнение достигнет заданных створов водотока;
- промежуток времени, по истечению которого нефтяное пятно пройдет заданный створ.

К процессам преобразования нефтяного разлива, происходящим в начальные моменты времени, можно отнести: растекание, перенос под действием течения водотока, испарение, эмульгирование, диспергирование, изменение состава, плотности и вязкости нефтепродуктов, осаждение на донную и береговую поверхности, осаждение на взвешенных частицах. На более поздних стадиях происходят преобразования, связанные с фото- и термохимическими изменениями, бактериологическим разложением, поглощением и утилизацией различными речными организмами. Соответственно, для расчета всех этих многочисленных параметров применяются соответствующие модели и алгоритмы. Они отличаются большим многообразием и нередко сложностью реализации.

Задача интеграции моделей в СОЗ требует выполнения дополнительных требований к системам моделей, в частности, их масштабируемости, открытости, гибкости, совместимости между собой и с другими информационными системами в сфере обеспечения техногенной безопасности.

Укрупненная структура формирования СОЗ для информационной поддержки интеллектуальных систем анализа и прогнозирования последствий аварийных разливов показана на рис. 1. Входными данными в этом случае являются массив исходных технических данных, экологические стандарты и

требования, а также нормативы безопасности. База моделей формируется по результатам анализа существующих моделей и осуществления новых этапов и процессов моделирования. В качестве моделей могут использоваться различные модели процессов и сценарные модели анализа последствий аварийных разливов. В последнее время часто используются имитационные модели, в том числе и полученные с помощью методов искусственного интеллекта.

Важным компонентом системы является прикладная геоинформационная система (ГИС), с помощью которой проводится привязка моделей к данной географической области и конкретное моделирование области распространения пятна загрязнения [9, 10]. Особенно важное значение приобретает этот компонент при анализе загрязнений в области малых водотоков, что определяется сложным характером течений в этих областях и трансформацией нефтепродуктов при их переносе в области водотоков с береговых областей.

Следует отметить сложности верификации моделей последствий разливов нефти, так как в этом случае не имеется достаточно полных и достоверных экспериментальных данных о реальных последствиях аварийных разливов в малых водотоках [11].

Система согласования предназначена для согласования "машинных" данных и знаний, а также знаний, получаемых от экспертов. В резуль-

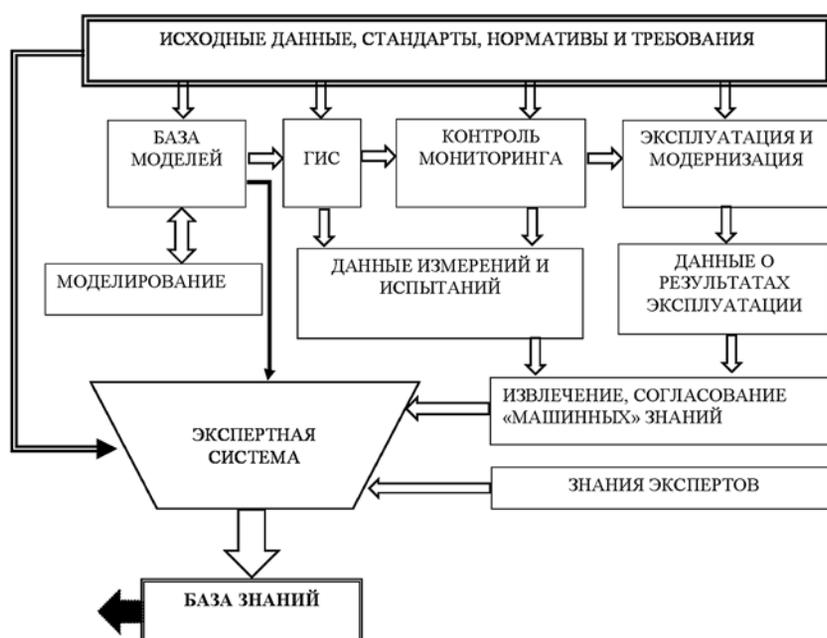


Рис. 1. Структура системы формирования знаний при моделировании аварийных разливов нефти

тате использования методов отбора знаний от экспертов получают некий набор информации, который должен быть верифицирован и согласован с имеющимися данными и "машинными" знаниями. Система согласования как раз и выполняет данную функцию. Ее работа основана на следующем принципе: полученная от эксперта информация сравнивается с информацией в базе знаний. В случае различия используются методы нечеткой логики для устранения противоречия, а именно, вычисления с использованием факторов (коэффициентов) уверенности, предназначенных для измерения степени релевантности данной информации.

Постоянная поддержка целостности и устойчивости системы, ее модернизация, устранение неопределенности и избыточности данных и т. д. являются самостоятельными и сложными научно-техническими задачами. Особенно важной представляется проблема согласования получаемых знаний, их верификация, а также мониторинг общего функционирования системы и формирование блоков вывода и протоколирования, а также различных интерфейсов.

Рассмотрим подробнее процесс построения экспертной системы. Обобщая и развивая результаты, полученные нами ранее, можно предложить в качестве базовой структуры подобной системы модель виртуальной экспертной системы (ЭС).

В этом случае, в зависимости от характера задачи компоненты виртуальной ЭС выбирают наиболее подходящий набор методов и алгоритмов функционирования ЭС. Здесь в качестве аналогов логических правил вывода обычных ЭС используются встроенные динамические ЭС, таким образом, всю архитектуру ЭС можно рассматривать как своего рода рекурсивную. Рекурсивная реализация метода не требует специальных машин параллельной обработки информации, поскольку параллельность может быть изначально заложена в сам алгоритм метода. Каждая параллель или независимая система обладает автономным информационным обеспечением. Клонирование информационного обеспечения происходит для обеспечения параллельности и получения нескольких независимых вариантов оптимальных решений. При этом каждая параллель или независимая система обладает автономным информационным обеспечением. При этом достаточно сложной и неоднозначной задачей представляется выбор конкретных методов со-

гласования и реализации динамических ЭС. Эта задача решается созданием системы управления знаниями. Традиционно в системах, базирующихся на знаниях, различают несколько базовых компонентов, основными из которых являются хранилище данных, механизм получения решений и интерфейс. Такая структура хорошо описывает ЭС, которые до настоящего времени на практике являются основным видом СОЗ. По мере развития информационных технологий становится ясно, что ЭС в их традиционном понимании могут применяться в сфере техногенной безопасности лишь для решения ограниченного круга задач. В то же время они могут быть эффективными компонентами сложных комплексных, в том числе и распределенных, СОЗ. Модельная структура подобной системы представлена на рис. 2, где не показаны интерфейсы и вспомогательные прикладные подсистемы.

Правая часть здесь представляет достаточно традиционную подсистему формирования экспертных знаний. С ее помощью формируется система экспертных знаний. Левая половина показывает подсистему извлечения и формирования знаний на основе массивов имеющихся данных и результатов моделирования. Необходимость использования в СОЗ громадных объемов разнородных данных вызывает необходимость интеграции в такие структуры подсистем, позволяющих извлекать из данных некоторые "машинные" знания, на основе которых создаются базы знаний (а точнее, базы моделей). Выбор алгоритмов и структур при реализации подобных подсистем является не-

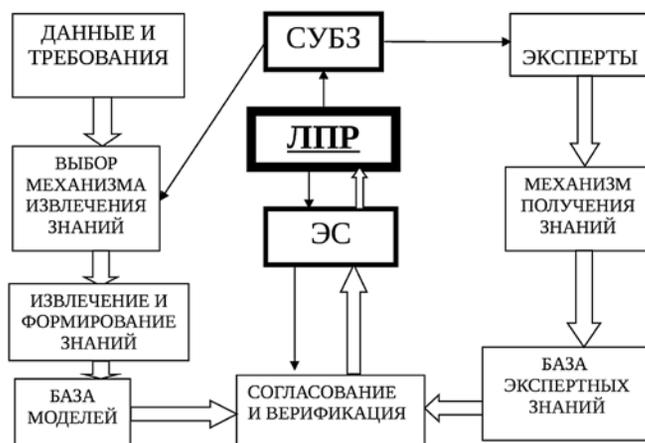


Рис. 2. Структура системы управления знаниями при моделировании аварийных разливов нефти (⇒ — информационная связь; → — управляющая связь)

тривиальной задачей, решение которой требует развития соответствующих методов, в том числе и с применением искусственного интеллекта. Ясно, что для согласования экспертных и "машинных" знаний требуются соответствующие методы и алгоритмы, выбор которых невозможен без участия человека (на схеме традиционно обозначенного как лицо, принимающее решение — ЛПР). В то же время эффективный выбор подобных средств затруднен без применения компьютеризированных структур информационной поддержки процессов принятия решений. Эти средства могут быть на практике весьма многообразны. Однако, по нашему мнению, их развитие должно идти по пути создания прикладных ЭС. В анализируемых системах поддержки процессов принятия решений ЭС выполняет следующие основные функции:

- прогнозирование;
- согласование с нормативной документацией;
- протоколирование;
- оценка рисков;
- контроль устойчивости системы;
- выдача рекомендаций.

Если же ЭС используется для согласования "машинных" и экспертных знаний, то ее структура намного сложнее. В зависимости от характера формируемых знаний и имеющихся требований и ограничений ЭС выбирает наиболее релевантный набор методов и алгоритмов для извлечения знаний, их структурирования и формализации, верификации и согласования. Основные особенности структуры ЭС в этом случае следующие:

- в качестве правил вывода (для обычных ЭС) используются встроенные динамические ЭС, т.е. всю архитектуру ЭС в целом можно рассматривать как рекурсивную;
- при выборе комплекса правил, методов, алгоритмов и прикладных программ используются как результаты экспертной оценки, так и различные методы автоматизированного принятия решений, что и позволяет определять ЭС как виртуальную.

Наиболее сложной задачей является выбор из некоторого множества нужного набора правил, методов обработки и алгоритмов. Это очень сложная задача, не имеющая однозначного решения. Одним из возможных способов частичного решения данной задачи представляется использование метода динамических приоритетов. В этом случае определяется список событий, инициирующих пересчет систе-

мы динамических приоритетов процедур, прямые и косвенные активации процедур.

Заключение

1. Показано, что разнообразие происходящих при разливах нефти в малых водотоках процессов и моделей для их анализа требует формирования и развития баз знаний для их интеграции в информационные системы прогнозирования последствий нефтяных загрязнений.

2. Проведен структурно-функциональный анализ системы информационной поддержки процессов прогнозирования последствий разливов нефти из трубопроводов, позволивший предложить и обосновать структуру подобной системы. Эта структура предполагает получение и согласование экспертных и "машинных" знаний. Последние формируются путем интеллектуального анализа исходных данных, их первичной обработки и дополнения результатами моделирования, вычислительных экспериментов с последующим извлечением и формированием знаний с помощью специальной ЭС.

3. Предложена обобщенная модель интеллектуальной системы информационной поддержки процессов мониторинга и анализа рисков аварийных разливов нефти, в основе которой лежит архитектура, основанная на виртуальной ЭС, что позволяет обеспечить необходимую гибкость логической структуры интеллектуальной системы, ее адаптивность и масштабируемость.

Список литературы

1. Мерициди И. А., Иванов В. Н., Прохоров А. Н. и др. Техника и технологии локализации и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов: Справочник. СПб.: НПО "Профессионал", 2008. 824 с.
2. Ларионов В. И. Моделирование аварийных разливов нефти на суше с применением ГИС-технологий. Методика. Уфа: МНТЦ "БЭСТС", 2004. С. 11—14.
3. Павлов А. А. Моделирование распространения аварийных разливов нефти по участкам водотоков малых рек. Дисс. ... канд. техн. наук: 03.02.08: защищена 24.04.12: утв. 30.08.12. М., 2012. 144 с.
4. Tsahalis D. T. Contingency planning for oil spills: River-spill a River Simulation Model // Proc. of the 1979 Oil Spill Conf, Amer. Petrol. Inst., Wash, D. C., 1979.
5. Дмитренко В. П., Роговицкий Ю. М. Моделирование процессов мониторинга аварийных разливов нефти из трубопроводов // Информационные технологии моделирования и управления. 2007. № 5. С. 588—593.
6. Kristensen F. T. Management of oil spill risks in Arctic waters // J. of Marine Environmental Engineering. 1994. Vol. 1. P. 131—159.

7. **Brovchenko I. A., Kushan F. V., Maderich V. M., Shlihtun M., Yushchenko S., Zheleznyak M.** The modelling system for simulation of the oil spills in the Black Sea // *Proc. 3 EUROGOOS Conf.* 2003. P. 56–62.

8. **Павлов А. А., Черняев А. В.** Моделирование процессов осаждения нефтяных загрязнений на береговую поверхность малых рек // *Информационные технологии.* 2009. № 11. С. 37–40.

9. **Осипов Д. Е.** Ввод и обновление пространственной информации в Мосгоргеотресте // *Информ. бюл. ГИС-Ассоц.* 2000. № 1 (23). С. 48–49.

10. **Черняев А. В., Павлов А. А.** Географическая информационная система малого речного бассейна и особенности ее формирования в задачах моделирования нефтяных загрязнений // *Информационные технологии.* 2014. № 2. С. 60–64.

11. **Reed M., Johansen O., Brandvik P. J., Daling P., Lewis A., Fiocco R., Mackay D., Prentki R.** Oil spill modeling towards the close of the 20th century: overview of the state-of-the-art // *Spill Science Technology Bulletin.* 1999. N. 5. P. 1–3.

A. V. Chernyaev, D. Sc., Prof., e-mail: alex_v_ch@mail.ru,
S. I. Gorbachev, Ph. D, Associate Professor, e-mail: gor-sergey1@yandex.ru,
M. A. Mikhalenko, Graduate Student, e-mail: maximabdul@mail.ru,
Moscow Aviation Institute (National Research University),
E. V. Metelkin, D. Sc., Prof., e-mail: sitech47@mail.ru,
Russian State Social University

Comprehensive Modeling of the Effects of Oil Spills in Small Streams for the Information System in their Forecasting

Paper studies the matters of comprehensive modelling of oil spills in small rivers for the information systems intended for the forecasting of oil pollution consequences.

Keywords: oil spill, mathematical modelling, expert systems, techno genic Safety

DOI: 10.17587/it.24.714-718

References

1. **Mericidi I. A., Ivanov V. N., Prohorov A. N.** i dr. *Tekhnika i tekhnologii lokalizacii i likvidacii avarijnyh razlivov nefiti i nefteproduktov: Spravochnik* (Technology and technologies of localization and liquidation of emergency oil spills and oil products), SPb., NPO "Professional", 2008, 824 p. (in Russian).

2. **Larionov V. I.** *Modelirovanie avarijnyh razlivov nefiti na sushe s primeneniem GIS-tekhnologij. Metodika* (Modeling of emergency oil spills on land using GIS of technologies), Ufa, MNTC "BEHSTS", 2004, pp. 11–14 (in Russian).

3. **Pavlov A. A.** *Modelirovanie rasprostraneniya avarijnyh razlivov nefiti po uchastkam vodotokov malyh rek* (Modeling the distribution of oil spills across sections of small river flows), Diss. kand. tekhn. Nauk, M., 2012, 144 p. (in Russian).

4. **Tsahalis D. T.** Contingency planning for oil spills: River-spill a River Simulation Model, *Proc. of the 1979 Oil Spill Conf.*, Amer. Petrol. Inst., Wash, D. C., 1979.

5. **Dmitrenko V. P., Rogovickij Yu. M.** Modelirovanie processov monitoringa avarijnyh razlivov nefiti iz truboprovodov (Modeling of oil spill monitoring processes from pipelines), *Information technologies of modeling and management*, 2007, no. 5, pp. 588–593 (in Russian).

6. **Kristensen F. T.** Management of oil spill risks in Arctic waters, *J. of Marine Environmental Engeneering*, 1994, vol. 1, pp. 131–159.

7. **Brovchenko I. A., Kushan F. V., Maderich V. M., Shlihtun M., Yushchenko S., Zheleznyak M.** The modelling system for simulation of the oil spills in the Black Sea, *Proc. 3 EUROGOOS Conf.*, 2003, pp. 56–62.

8. **Chernyaev A. V., Pavlov A. A.** *Modelirovanie processov osazhdeniya neftyanyh zagryaznenij na beregovuyu poverhnost' malyh rek. Informacionnye tekhnologii* (Geographic information system of the small river basin and peculiarities of its formation in the problems of modeling of oil contamination. Information technology) Moscow, 2009, no. 11, pp. 37–40 (in Russian).

9. **Осипов Д. Е.** Ввод и обновление пространственной информации в Мосгоргеотресте (Introduction and updating of spatial information in Mosgorgeotreste), *Inform. byul. GIS-Ассоц.*, 2000, no. 1 (23), pp. 48–49 (in Russian).

10. **Черняев А. В., Павлов А. А.** Географическая информационная система малого речного бассейна и особенности ее формирования в задачах моделирования нефтяных загрязнений (Geographic information system of the small river basin and peculiarities of its formation in the problems of modeling of oil contamination), *Информационные Технологии*, 2014, no. 2, pp. 60–64 (in Russian).

11. **Reed M., Johansen O., Brandvik P. J., Daling P., Lewis A., Fiocco R., Mackay D., Prentki R.** Oil spill modeling towards the close of the 20th century: overview of the state-of-the-art, *Spill Science Technology Bulletin*, 1999, no. 5, pp. 1–3.