

УДК 658.512.22

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДСИСТЕМЫ САПР ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ «ПРИРОДА-ТЕХНОГЕНИКА»

Р. И. Сольницев,

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

М. А. Тревгода,

аспирант

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Рассматриваются вопросы разработки программного обеспечения для проектирования замкнутой системы управления «Природа-техногеника». Сформулированы основные принципы построения подсистемы САПР, предложена структура программного обеспечения и соответствующие программные модули.

Ключевые слова — экология, загрязняющие вещества, система управления, передаточная функция, программные модули.

В работах [1–3] на основе концепции замкнутой системы управления «Природа-техногеника» (ЗСУПТ) рассмотрены основные принципы и структурные решения для одиночного источника загрязняющих веществ (ИЗВ), а в работе [4] — алгоритмы мониторинга и управления для микрорайона со многими источниками.

Для разработки столь сложных систем управления, какой является ЗСУПТ, необходимо применять новые информационные технологии, средства САПР, включающие построение математических моделей, моделирование, анализ, синтез, расчет и решение других задач проектирования. Эти технологии позволяют повысить эффективность принимаемых решений и сократить сроки и затраты на ввод системы в промышленную эксплуатацию.

Наиболее сложными и в то же время наименее формализованными являются начальные этапы разработки ЗСУПТ (согласование ТЗ, аванпроект, эскизный проект). Ошибки, допущенные на этих этапах, обходятся очень дорого и могут обесценить всю дальнейшую работу над проектом. Поэтому разработка подсистемы САПР ЗСУПТ, с помощью которой проектировщик сможет находить допустимые решения на начальных этапах, является весьма актуальной.

Состав и эффективность подсистемы САПР ЗСУПТ определяется ее назначением, структу-

рой и физической сущностью проектируемой ЗСУПТ; требованиями, предъявляемыми к исследуемой системе и ее элементам; ограничениями, накладываемыми на процесс их функционирования, с одной стороны, а также математическим обеспечением, используемым для решения поставленной задачи, с другой стороны. В этой связи предлагается подсистема САПР, обеспечивающая:

- построение математических моделей ЗСУПТ и ее устройств;
- анализ ЗСУПТ при различных сочетаниях метеорологических и синоптических данных;
- синтез законов управления очистными агрегатами;
- моделирование ЗСУПТ как многомерной системы с учетом влияния выбросов ЗВ «соседних» источников в микрорайоне (промышленной зоне);
- оценку составляющей ЗВ, обусловленную трансграничным переносом.

Подсистема САПР должна иметь дружественный интерфейс, позволяющий легко изменять параметры ЗСУПТ и внешних воздействий, анализировать и обрабатывать полученные результаты.

Основные требования, предъявляемые к рассматриваемой подсистеме САПР ЗСУПТ:

- гибкость и открытость архитектуры, что позволит включать в подсистему различные модели распространения ЗВ в атмосфере, модели очист-

ных агрегатов, модели взаимного влияния (в том числе многих источников ЗВ с учетом трансграничного переноса) и другие модели по мере необходимости;

- наличие удобного и простого пользовательского интерфейса, позволяющего легко изменять параметры ЗСУПТ, внешних воздействий, вычислительного эксперимента; анализировать полученные результаты;

- удобный доступ ко всем требуемым математическим моделям, к широкому спектру средств моделирования ЗСУПТ и анализа результатов расчетов.

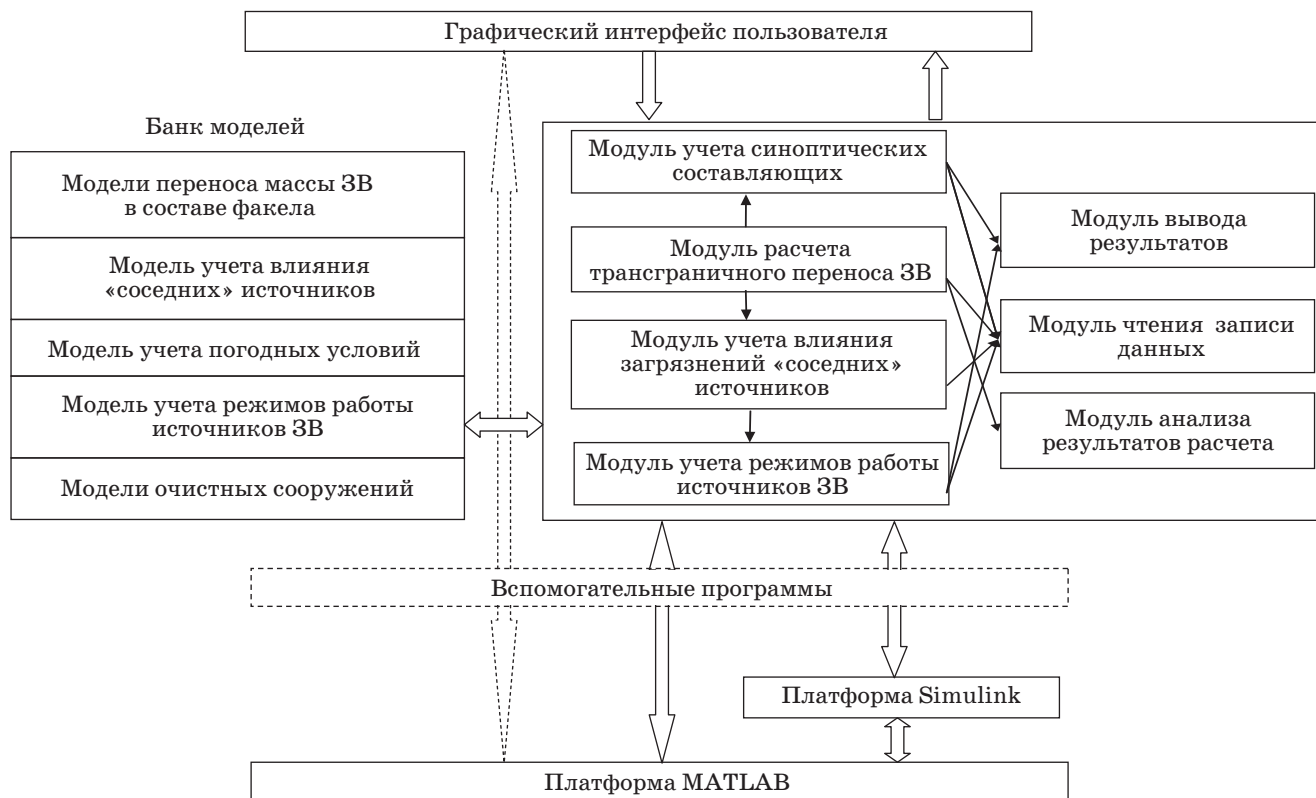
В работе [2] рассмотрено моделирование ЗСУПТ для одиночного ИЗВ в целях подтверждения основных принципов построения ЗСУПТ. Рассмотрены математические модели, которые могут быть частью математического обеспечения предлагаемой подсистемы САПР. В дальнейшем к этой части математического обеспечения были добавлены [4] алгоритмы и математические модели для многих ИЗВ, их взаимного влияния и определения трансграничного переноса ЗВ.

В данной работе рассматривается разработка программного обеспечения подсистемы САПР ЗСУПТ, которое, как известно, является важнейшей составляющей САПР как инструмента проектировщика.

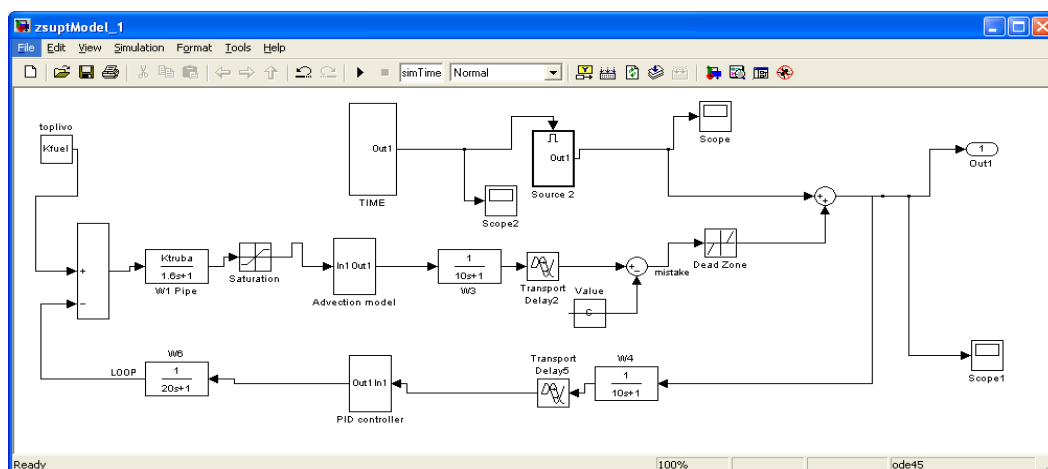
На основе анализа разнообразных программных средств в качестве среды для разработки подсистемы САПР предлагается использовать интегрированную среду моделирования MATLAB/Simulink, которая позволяет моделировать замкнутые нелинейные системы и анализировать их свойства.

Основными причинами, определившими такой выбор программного средства, явились богатый набор стандартных блоков для моделирования динамических систем, высококоразвитый математический аппарат для решения задач векторно-матричной алгебры, возможность интеграции с другими математическими пакетами, например с пакетом Comsol Multiphysics, который специально разработан для моделирования разнообразных физических процессов. Интеграция с этим пакетом моделирования позволит произвести идентификацию ЗСУПТ при использовании в качестве математической модели переноса ЗВ полного уравнения турбулентной диффузии и конвекции. Такая идентификация необходима для подтверждения адекватности использования при моделировании ЗСУПТ модели переноса ЗВ «вход-выход» [2].

Предлагаемая структура подсистемы САПР ЗСУПТ в среде MATLAB/Simulink представлена на рис. 1.



■ Рис. 1. Архитектура программного обеспечения подсистемы САПР ЗСУПТ



■ Рис. 2. Simulink-модель ЗСУПТ

Программное обеспечение подсистемы САПР ЗСУПТ включает в себя ряд программных приложений, написанных в среде MATLAB и использующих расширение Simulink для моделирования и анализа ЗСУПТ на начальных этапах проектирования. Основные разработанные программные модули подсистемы САПР ЗСУПТ:

- 1) моделирования ЗСУПТ без учета влияния «соседних» источников;
- 2) моделирования ЗСУПТ с учетом влияния «соседних» источников;
- 3) анализа и обработки результатов моделирования;
- 4) графического интерфейса.

Подсистема САПР ЗСУПТ имеет графический диалоговый интерфейс, который позволяет вводить исходные данные, проводить моделирование системы, анализировать и отображать его результаты в удобном для пользователя виде.

Подсистема содержит вспомогательные программы для оперативного сохранения результатов моделирования в файлы и чтения исходных данных. Модели, составляющие ЗСУПТ, предлагается выделить в отдельные блоки при помощи механизма маскирования подсистем, который позволяет оформить подсистему как полноценный библиотечный блок, т. е. снабдить подсистему собственным окном параметров, пиктограммой, справочной системой и т. п.

Маскирование подсистем дает пользователю следующие преимущества:

- расширяет возможности пользователя по управлению параметрами модели;
- позволяет создавать более понятный интерфейс подсистемы;
- повышает наглядность блок-диаграммы;
- расширяет возможности построения сложных моделей;

— повышает защищенность модели от несанкционированной модификации.

Разработанная Simulink-модель ЗСУПТ отдельного ИЗВ (рис. 2) содержит блоки, математические модели которых описывались ранее [1, 2]. В модель также добавлены нелинейные блоки, моделирующие чувствительность датчиков при передаче сигнала с газоанализаторов в информационно-измерительное устройство и насыщение исполнительных элементов.

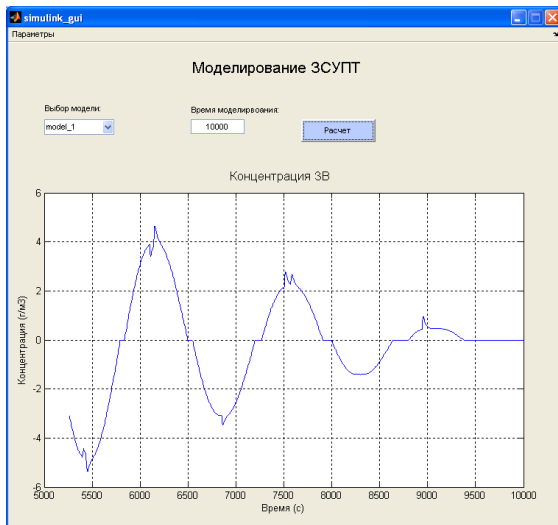
В качестве модели распространения ЗВ (блок Advection model) используется передаточная функция, выведенная из уравнения турбулентной диффузии и конвекции Р. И. Сольнищевым [3]. Эта модель, реализованная с помощью механизма маскирования, состоит из двух блоков: инерционного звена первого порядка и звена временной задержки.

Рассмотрим работу подсистемы САПР ЗСУПТ на примере моделирования отдельного ИЗВ.

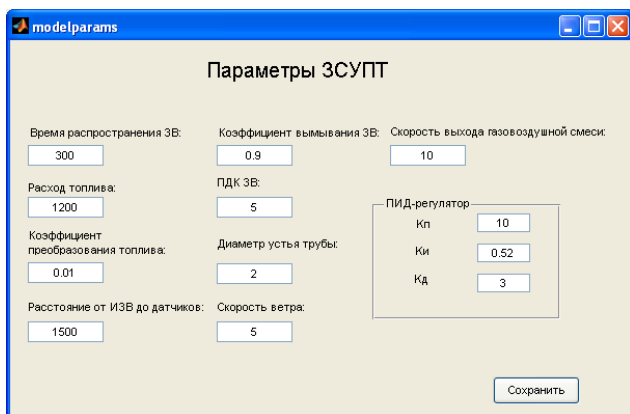
В главном окне приложения (рис. 3) расположена область для вывода графика переходного процесса, поле для установки времени моделирования, поле для выбора модели ЗСУПТ, кнопка для запуска моделирования. Параметры ЗСУПТ задаются в диалоговом окне «Параметры ЗСУПТ» (рис. 4).

Параметры модели ЗСУПТ включают:

- 1) коэффициент преобразования топлива в топливные газы, с/м^3 ;
- 2) время распространения ЗВ до рассматриваемой точки, с;
- 3) скорость ветра, м/с;
- 4) расстояние от ИЗВ до рассматриваемой точки, м;
- 5) ПДК ЗВ, мг/м^3 ;
- 6) коэффициент эффективности работы пылегазоуловителей (ПГУ), а также вымывания ЗВ осадками [5];



■ Рис. 3. Главное окно приложения



■ Рис. 4. Диалоговое окно ввода параметров модели

- 7) расход топлива, г/с;
- 8) позиционный коэффициент ПИД-регулятора;
- 9) коэффициент интегрирующего звена ПИД-регулятора;
- 10) коэффициент дифференцирующего звена ПИД-регулятора;
- 11) диаметр трубы, м;
- 12) скорость выхода газовой смеси из трубы, м/с.

Параметры пп. 8–10 выбираются в процессе синтеза управления ЗСУПТ. Также в подсистеме САПР ЗСУПТ предусмотрено добавление новых параметров модели ЗСУПТ.

Введенные параметры сохраняются локально в приложении, также их можно сохранить в файлах данных либо в СУБД для дальнейшего использования. В качестве СУБД используется свободно распространяемая СУБД MySQL. Для сохранения и чтения параметров модели разработаны соответствующие скрипты, которые авто-

матически запускаются при сохранении и чтении параметров из базы данных.

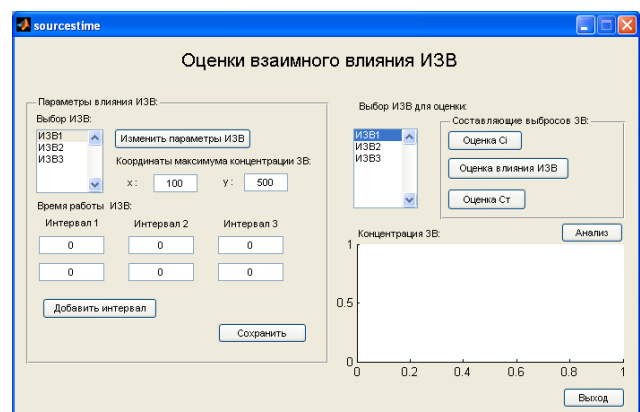
Время распространения ЗВ может определяться косвенно [5] через определение скорости ветра и расстояния до рассматриваемой точки в диалог «Параметры ЗСУПТ». Значения диаметра трубы и скорости газовой смеси используются для определения коэффициента преобразования топлива в топливные газы [5]. Выбранные параметры можно сохранить в базе данных для последующего использования.

Приведем пример работы программы для ИЗВ со следующими параметрами [5]:

- 1) скорость ветра — 5 м/с;
- 2) расстояние от ИЗВ до рассматриваемой точки — 1500 м;
- 3) коэффициент вымывания ЗВ и работы ПГУ — 0,9;
- 4) диаметр трубы — 2 м;
- 5) скорость выхода газовой смеси — 8 м/с;
- 6) коэффициент преобразования топлива — 0,01 с/м³;
- 7) расход топлива — 1200 г/с;
- 8) время распространения ЗВ — 300 с;
- 9) ПДК ЗВ — 0,05 мг/м³.

Требуется провести расчет ЗСУПТ при этих параметрах и подобрать значения коэффициентов ПИД-регулятора, обеспечивающих эффективную работу ЗСУПТ. Результат моделирования при значениях нормированных коэффициентов ПИД-регулятора (K_п — 1, K_и — 1,3, K_д — 0,3) представлен ранее на рис. 3.

Результаты моделирования, значения концентраций ЗВ, оценки взаимного влияния ИЗВ также могут быть представлены в виде таблиц, которые можно сохранить для последующего анализа. Аналогичным образом, при помощи механизма маскирования, реализовываются Simulink-модели для других программных модулей



■ Рис. 5. Диалоговое окно оценки взаимного влияния ИЗВ

подсистемы САПР ЗСУПТ. Реализуются соответствующие диалоговые интерфейсы и программные модули для обмена данными между приложениями. Для учета влияния соседних источников при моделировании и анализе ЗСУПТ следует обеспечить ввод необходимых параметров влияния. Диалоговое окно оценки взаимного влияния многих ИЗВ представлено на рис. 5.

В дальнейшем будут решаться вопросы, связанные с оценкой точности определения концентраций ЗВ, проводятся эксперименты по моделированию взаимного влияния многих ИЗВ, разрабатываются соответствующие программные модули.

Представленное в данной работе программное обеспечение позволяет применять рассмотренную подсистему САПР как инструмент для проектирования ЗСУПТ на начальных этапах.

Литература

1. Худoley В. В., Ливанов Г. А. Проблемы загрязнения окружающей среды стойкими органическими соединениями, в частности диоксинами // Тр. Междунар. конф. IENS'04/Под ред. проф. Р. И. Сольничева. СПб., 2004. С. 39–43.
2. Сольничев Р. И., Коршунов Г. И., Шабалов А. А. Моделирование замкнутой системы управления «Природа-техногенника» // Информационно-управляющие системы. 2008. № 2. С. 36–41.
3. Сольничев Р. И. Вопросы построения замкнутой системы управления «Природа-техногенника» // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2009. № 7. С. 23–32.
4. Сольничев Р. И., Тревгода М. А. Алгоритмизация начальных этапов процесса проектирования замкнутой системы управления «Природа-техногенника» // Информационно-управляющие системы. 2010. № 2. С. 61–65.
5. ОНД-86 Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий / Под ред. М. Е. Берлянда, Н. К. Гасиловой, Е. Л. Генриховича и др. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 93 с.

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Журнал «Информационно-управляющие системы» выходит каждые два месяца. Стоимость годовой подписки (6 номеров) для подписчиков России — 3600 руб., для зарубежных подписчиков — 4200 руб., включая НДС 18 % и почтовые расходы.

На электронную версию нашего журнала вы можете подписаться на сайте *РУНЭБ* (<http://www.elibrary.ru>).

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

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

«Пресса России» — № 42476,

а также используя услуги посредников:

«Издательский дом «Экономическая газета»:

Москва, тел.: (499) 152-88-51, 661-20-30, e-mail: akdi@akdi.ru, izdatcat@eg-online.ru;

«Северо-Западное Агентство «Прессинформ»:

Санкт-Петербург, тел.: (812) 335-97-51, 337-23-05, факс: (812) 337-16-27,

e-mail: press@crp.spb.ru, zajavka@crp.spb.ru, сайт: <http://www.pinform.spb.ru>;

Подписное агентство «МК-Периодика» (РФ + 90 стран):

тел.: (495) 681-91-37, 681-87-47, факс: (495) 681-37-98,

e-mail: export@periodicals.ru, сайт: <http://www.periodicals.ru>;

«Информнаука» (РФ + ближнее и дальнее зарубежье):

тел.: (495) 787-38-73 (многоканальный), факс: (495) 152-54-81,

e-mail: Alfimov@viniti.ru, сайт: <http://www.informnauka.com>;

«Артос-Гал»:

Москва, тел.: (495) 603-27-28, 603-27-33, 603-27-34, факс: (495) 603-27-28,

сайт: <http://www.artos-gal.mpi.ru/index.html>;

«Интерпочта»:

Москва, тел.: (495) 500-00-60, 580-95-80,

e-mail: interpochta@interpochta.ru, сайт: <http://www.interpochta.ru> и др.