

4. Evteev V.K., Vasil'eva A.S. Anaerobnyi fil'tr s tsiklicheskim vozmushcheniem // Prirodopol'zovanie i agrarnoe proizvodstvo: sb. st. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (23-25 maya 2012 g.). – Irkutsk: IrGSKhA, 2012. – S. 26.

5. Chugaev R.R. Gidravlika. – 5-e izd. – M.: OOO «BASTET», 2008. – 600 s.

6. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovskii Yu.V. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nykh uslovii. – 2-e izd., pe-rerab. i dop. – M.: Nauka, 1976. – 280 s.

7. Vasil'eva A.S., Evteev V.K. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy na demonstratsionnoi ustanovke anaerobnogo fil'tra // Ekologicheskaya bezopasnost' i perspektivy razvitiya agrarnogo proizvodstva Evrazii: mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 60-letiyu aspirantury IrGSKhA (3-5 dekabrya 2013 g.). – Irkutsk: IrGSKhA, 2013. – S. 12.



УДК 658.511:66.011

И.Ю. Шевченко
I.Yu. Shevchenko

**УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫМ НЕФТЕХИМИЧЕСКИМ
ПРОМЫШЛЕННЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ
НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
И СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**THE CONTROL OF COMPLEX PETROCHEMICAL PRODUCTION BASED
ON MATHEMATICAL MODELING
AND MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES**

Ключевые слова: оптимальное управление, информационные технологии, экономико-математическое и компьютерное моделирование, информационно-моделирующая система, детерминированные модели, промышленное производство, пиролиз углеводородов, производственные задачи, оптимизация, модернизация.

Развитие современных производственных технологий связано с внедрением безотходных технологических циклов в составе производства как экологически и экономически выгодных. Моделирование и информационные технологии позволяют проводить вычислительные эксперименты с целью анализа возможных ситуаций при изменении параметров ведения процесса. Оптимальное управление промышленным производством происходит на базе современных информационно-моделирующих систем (ИМС), разработанных с помощью методов математического моделирования и искусственного интеллекта. Представлена компьютерная информационно-моделирующая система основного узла процесса пиролиза углеводородов, основанная на детерминированных математических моделях пиролизных трубчатых печей со змеевиками разной конструкции, в виде реакторов идеального вытеснения. Печи промышленного блока работают параллельно на различном углеводородном сырье. Одна из основных технологических проблем для печей пиролиза – это универсальность по отношению к сырью. Разработанная ИМС процесса пиролиза углеводородов базируется на математических моделях, чувствительных к изменению химического состава сырья, так как они учитывают механизм химических реакций, физико-химические закономерности протекающих явлений (кинетику процесса) и

покомпонентный состав сырья и продуктов, а также технологические параметры процесса и конструктивные особенности печей. С помощью данной ИМС проведены серии прогноз-расчетов по целевым продуктам для пиролизного производства (завода «Этилен») Томского нефтехимического комбината на сырье Омского и других нефтеперерабатывающих заводов, также просчитывались варианты пиролиза широкой фракции лёгких углеводородов (ШФЛУ) как в качестве самостоятельного сырья, так и в качестве добавки к прямогонному бензину. Предлагаемая информационно-моделирующая система процесса пиролиза различного углеводородного сырья позволяет решать реальные производственные задачи по компоновке сырья, модернизации технологического оборудования и другие связанные с оптимальным управлением производства и уменьшением аварийных ситуаций.

Keywords: optimal control, information technology, economic-mathematical modeling and computer simulation, information-modeling system-mA, deterministic models, industrial production, pyrolysis of hydrocarbons, production problems, optimization, modernization.

Modeling and information technologies allow to carry out the computational experiments to analyse possible situations when changing the parameters of process. Optimal control of industrial production is based on modern information-modeling systems (IMS), developed using the methods of mathematical modeling and artificial intelligence. This work presents computer information-modeling system of the pyrolysis of hydrocarbons primary node, based on deterministic mathematical models of pyrolysis tube furnaces with coils of different constructions, in

the form of ideal displacement reactors. Furnaces of industrial unit operate in parallel on different hydrocarbons. One of the main technological problems for pyrolysis furnaces is the universality in relation to raw materials. Developed IMS of process of hydrocarbons pyrolysis is based on mathematical models that are sensitive to changes in the chemical composition of raw materials, as they take into account the mechanism of chemical reactions, physical and chemical regularities of occurring phenomena (kinetics of the process) and component composition of raw materials and products, as well as the process technological parameters and construction features of

furnaces. With the help of this IMS a series of forecast calculations for the target products for the pyrolysis production (plant "Ethylene") of Tomsk petrochemical plant on raw materials of Omsk and other refineries conducted, as variants pyrolysis of broad fraction of light hydrocarbons (BFLH) as an independent raw material and as an addition to straight-run gasoline calculated. The proposed IMS of the process of various hydrocarbon raw materials pyrolysis allows to solve real industrial problems of the raw material layout, technological equipment modernization and others problems connected with the optimal control of production and decrease in emergency situations.

Шевченко Ирина Юрьевна, к.т.н., доцент, каф. информационных технологий, Алтайский государственный аграрный университет, e-mail: alfarr64@mail.ru.

Shevchenko Irina Yuryevna, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Chair of Information Technologies, Altai State Agricultural University. E-mail: alfarr64@mail.ru.

Введение

Управление промышленным производством и его экономикой происходит на базе современных информационно-моделирующих систем (ИМС), разработанных с помощью методов математического моделирования и искусственного интеллекта.

Развитие современных производственных технологий связано с внедрением безотходных технологических циклов в составе производства как экологически и экономически выгодных [1].

Применение ИМС позволяет повысить производительность и надежность технологий. Роль таких систем особенно велика при эксплуатации крупных нефтеперерабатывающих и химических промышленных объектов, аварии на которых или их неэффективная работа могут привести к значительному ущербу [2].

Оперативное и эффективное решение производственных задач возможно при использовании информационно-моделирующих систем различной структуры, информационно-управляющих систем (ИУС) сложных технологических процессов или, иначе, компьютерных систем принятия решений (КСПР) [3].

Такие информационные системы предназначены для моделирования и компьютеризации производства с целью изучения сложного объекта в целом, вместе со всей совокупностью его внутренних и внешних связей. ИМС позволяют проводить вычислительные (компьютерные) эксперименты на моделях, с целью анализа возможных ситуаций при изменении параметров ведения процесса, даже в условиях, когда реальные эксперименты затруднены или невозможны, или могут привести к разрушению оборудования [4].

Известно много моделей, разработанных учеными или группами ученых зарубежных фирм, которые используются для расчета состава продуктов пиролиза углеводородного

сырья на промышленных производствах разных стран. Это модель авторов D.A. Edelson и D.L. Allara [5]. Группа ученых известной нидерландской фирмы KTI разработали методологию с использованием программы моделирования пиролизных печей SPYRO для проектирования печей по заказу, являющейся собственностью компании [6]. Программа моделирует процесс пиролиза различного углеводородного сырья от этана до лигроина, кинетическая модель включает механизм из 2000 реакций.

Целью работы является разработка компьютерной информационно-моделирующей системы основного узла процесса пиролиза различного углеводородного сырья, состоящей из детерминированных математических моделей пиролизных трубчатых печей со змеевиками разной конструкции, учитывающих механизм химических реакций, физико-химические закономерности протекающих явлений (кинетику процесса) и покомпонентный состав сырья и продуктов, а также технологические параметры процесса для решения широкого круга производственных задач.

Экспериментальная часть

Информационно-моделирующая система или, иначе, компьютерная система принятия решений должна помогать пользователю на всех этапах процесса принятия решений: производить мониторинг ситуации, определять проблему и выполнять планирование различных сценариев ее решения, выбирать оптимальный вариант из нескольких альтернативных. В соответствии с этими целями основными подсистемами КСПР являются [2]:

1) информационный блок, содержащий базы данных и базы знаний об объекте управления, внешних воздействиях, стратегиях и правилах ведения хозяйства;

2) модельный блок (математическая модель или ряд моделей);

3) оптимизационный блок (экономико-математическая модель);

4) блок визуализации и интерфейса человека с компьютерной системой.

Представлена компьютерная информационно-моделирующая система основного узла процесса пиролиза углеводородов, основанная на детерминированных математических моделях пиролизных трубчатых печей со змеевиками разной конструкции, в виде реакторов идеального вытеснения [4].

Термический пиролиз – это процесс разложения углеводородов (УВ), протекающий в трубчатых печах при высоких температурах 700-900°C с добавлением водяного пара. Основные товарные продукты – этилен, пропилен.

Промышленный блок трубчатых печей, работающих параллельно на различном сырье, где происходит гомогенный процесс высокотемпературного пиролиза углеводородного сырья, составляет основной узел пиролиза. Далее со всех печей пирогаз собирается в общий трубопровод и направляется на дальнейшую переработку: очистку и разделение на продуктовые фракции. Такая установка действует на Томском нефтехимическом комбинате и других нефтеперерабатывающих предприятиях Сибири и России [1].

Одна из основных технологических проблем для печей пиролиза – это универсальность по отношению к сырью. В качестве сырья процесса пиролиза используются углеводородные фракции: газовые (этан, пропан, бутан и их смеси, широкая фракция легких углеводородов), жидкие бензиновые фракции (прямогонные бензины, бензины-рафинаты и др.). Возникающие при этом вопросы компоновки сырья, перефильтрации реакторов (печей) можно решать с помощью представляемой ИМС пиролиза [3].

ИМС основного узла процесса пиролиза УВ базируется на математических моделях, чувствительных к изменению химического состава сырья, так как учитывают механизм химических реакций, физико-химические закономерности протекающих явлений (кинетику процесса) и покомпонентный состав сырья и продуктов, а также технологические параметры процесса [7].

Вопросы построения детерминированных моделей кинетики пиролиза различного сырья и моделей реакторов (печей) процесса подробно представлены в работах [4, 7, 8].

Каждая модель кинетики состоит из определенного числа реакций, компонентов и системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Так, модель пиролиза этанпропановых сырьевых фракций представляет собой систему из 13 ОДУ, описывающую 36 реакций и 13 компонентов. Модель пиролиза широкой фракции легких углеводородов C₃-C₄ (ШФЛУ) включает 118 реакций, 41 компонент и систему из 41 ОДУ. Модель пиролиза бензинов состоит из системы 53 ОДУ, 177 реакций и 53 компонентов [8].

Проверка на адекватность моделей печей ИМС выполнялась по промышленным данным с установки ЭП-300 завода «Этилен» Томского нефтехимического комбината [7].

Представляемая ИМС основного узла пиролиза состоит из нескольких подсистем, состоящих из пакета программ и файлов данных (рис.) [3].

Блок экономико-математического моделирования «Optimal» позволяет выбрать критерий оптимальности (Z) и сформировать систему ограничений. В качестве критерия – цели производства могут быть выбраны: Z_{max} – выход целевых продуктов, прибыль от реализации продукции; Z_{min} – затраты на сырье, общие затраты на производство и другие.

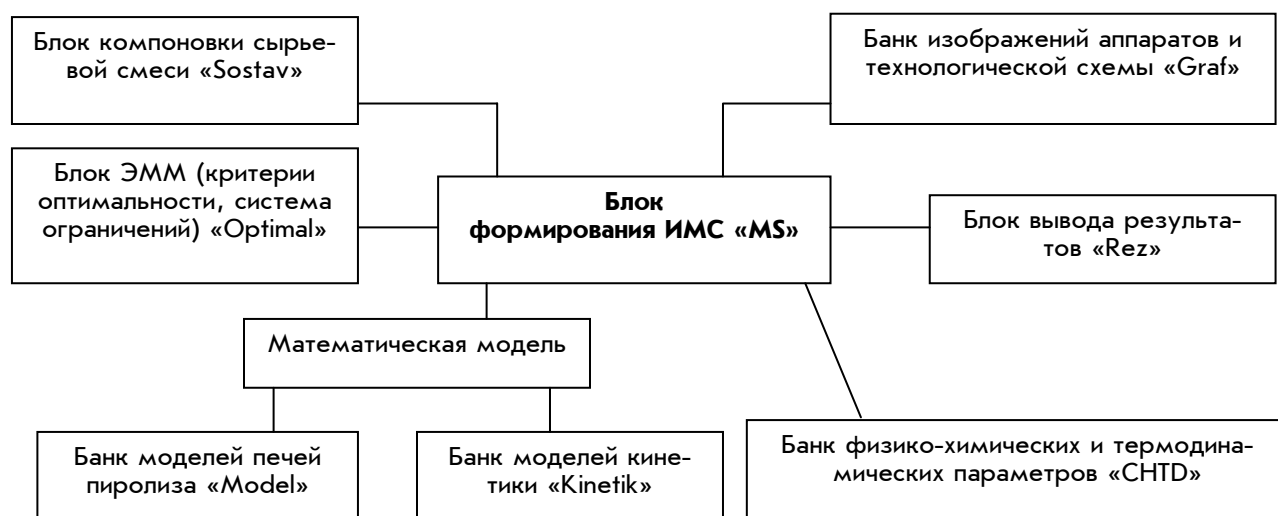


Рис. Структура информационно-моделирующей системы пиролиза углеводородного сырья

Практическое применение ИМС

С помощью разработанной ИМС выполнены различные исследования. Так, проведены серии прогноз-расчетов по выходу продуктов для пиролизного производства (завода «Этилен») Томского нефтехимического комбината на сырье Омского и Сургутского нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ), просчитывались варианты пиролиза ШФЛУ как самостоятельного сырья и добавки к прямогонному бензину. Например, добавление 20% ШФЛУ к бензину дает увеличение выхода целевых продуктов на 4,1%, уменьшение расхода смеси с 18,2 до 15,6 т/ч, что позволяет экономить бензин. Исследования показали, что экономически целесообразно использовать ШФЛУ в качестве самостоятельного сырья как более дешевого альтернативного бензина, при этом выход основных продуктов этилена и пропилена не снижается [4, 7].

Результаты работы имеют практическое применение в научно-исследовательских организациях и на производстве. Получены акты об использовании научной разработки: 1) в ЗАО «Технефтехим», г. Москва – модель пиролиза этановых фракций для проектных и прогноз-расчетов; 2) в НИИ Механики МГУ лабораторией № 109 Центра АВОГАДРО – модель пиролиза бензиновых фракций для апробации методики по дискриминации сложных механизмов процессов газовой динамики; 3) на Томском нефтехимическом комбинате, завод «Этилен» – информационно-моделирующая система пиролиза углеводородов для расчетов с целью рекомендаций по использованию различного углеводородного сырья.

Заключение

По оценкам ученых, вследствие качественного и оперативного использования подобных информационно-моделирующих систем издержки производства снижаются на 6-10%, издержки обращения – на 7-20%. Эффективность применения ИМС выражается в экономии сырьевых и материальных ресурсов и сокращении оборотных средств на 7-10% [9].

Таким образом, разработанная информационно-моделирующая система процесса пиролиза различного углеводородного сырья позволяет [3, 4, 7]:

решать реальные производственные задачи по компоновке сырья и подбору технологического режима при изменении состава сырья;

прогнозировать и подбирать параметры процесса при реконструкции и модернизации технологического оборудования блока печей пиролиза;

решать прикладные задачи планирования и оптимизации, связанные с оптимальным управлением производством.

Также предлагаемая ИМС процесса пиролиза углеводородов может быть использована в научно-исследовательских целях и в качестве тренажера для инженерно-технического персонала и подготовки специалистов.

При эксплуатации нефтеперерабатывающего и химического промышленного объекта, такого как пиролиз углеводородов, применение информационно-моделирующей системы позволяет повысить не только производительность и надежность технологий, но и уменьшить риск аварийных ситуаций.

Библиографический список

1. Шевченко И.Ю. Информационные технологии в моделировании сложных нефтехимических процессов // Новые технологии в промышленности и сельском хозяйстве: матер. конф.; ООО «Международный центр технологий». – Бийск: Изд-кий дом «Бия», 2012. – С. 152-156.
2. Шевченко И.Ю. Моделирование и современные информационные технологии как инструменты инновационного развития производственных процессов // Перспективы инновационного развития АПК и сельских территорий: матер. конф. – Барнаул: АЗБУКА, 2013. – С. 219-222.
3. Шевченко И.Ю. Информационно-моделирующая система процесса пиролиза углеводородов для оптимального управления промышленным производством // Теоретические и практические вопросы развития научной мысли в современном мире: матер. конф.: в 4 ч. / ООО «Аэтерна». – Уфа: РИЦ БашГУ, 2013. – Ч. 4. – С. 163-167.
4. Зеленко И.Ю. Разработка моделирующей системы процесса пиролиза углеводородов: дис. ... канд. техн. наук. – Томск: Томский политехнический ун-т, 1999. – 150 с.
5. Edelson D.A., Allara D.L. // Int. J. Chem. Kin. – 1980. – V. 12. – P. 605-621.
6. Дупон И.Дж.П. Расширение и реорганизация заводов по производству этилена // Российский химический журнал. Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева. – 1997. – № 1.
7. Кравцов А.В., Сваровская Н.А., Зеленко И.Ю. Моделирующая система блока реакторов технологической линии высокотемпературного пиролиза // Хим. пром-ть. – 1999. – № 7. – С. 30-33.
8. Кравцов А.В., Новиков А.А., Зеленко И.Ю. и др. Разработка научных основ, моделирование и оптимизация технологии переработки горючих ископаемых // Изв.

ТПУ. – 2000. – Т. 303. – Вып. 1. – С. 189-208.

9. Меденников В.И., Сальников С.Г., Сергованцев В.Т. и др. Отчет о НИР «Анализ состояния и объемы информационных ресурсов сельскохозяйственных предприятий в Интернет-пространстве». – ВИАПИ РАСХН. – 2011.

References

1. Shevchenko I.Yu. Informatsionnye tekhnologii v modelirovanii slozhnykh neftekhimicheskikh protsessov // Novye tekhnologii v promyshlennosti i sel'skom khozyaistve: mater. konf.; ООО «Mezhdunarodnyi tsentr tekhnologii». – Biisk: Izd-kii dom «Biya», 2012. – S. 152-156.

2. Shevchenko I.Yu. Modelirovanie i sovremennye informatsionnye tekhnologii kak instrumenty innovatsionnogo razvitiya proizvodstvennykh protsessov // Perspektivy innovatsionnogo razvitiya APK i sel'skikh territorii: mater. konf. – Barnaul: AZBUKA, 2013. – S. 219-222.

3. Shevchenko I.Yu. Informatsionno-modeliruyushchaya sistema protsessa piroliza uglevodorodov dlya optimal'nogo upravleniya promyshlennym proizvodstvom // Teoreticheskie i prakticheskie voprosy razvitiya nauchnoi mysli v sovremennom mire: mater.

konf.: v 4 ch. / ООО «Aeterna». – Ufa: RITs BashGU, 2013. – Ch. 4. – S. 163-167.

4. Zelenko I.Yu. Razrabotka modeliruyushchei sistemy protsessa piroliza uglevodorodov: dis. ... kand. tekhn. nauk. – Tomsk: Tomskii politekhnicheskii un-tet, 1999. – 150 s.

5. Edelson D.A., Allara D.L. // Int. J. Chem. Kin. – 1980. – V. 12. – P. 605-621.

6. Dupon I.Dzh.P. Rasshirenie i reorganizatsiya zavodov po proizvodstvu etilena // Rossiiskii khimicheskii zhurnal. Zhurnal Rossiiskogo khimicheskogo obshchestva im. D.I. Mendeleeva. – 1997. – № 1.

7. Kravtsov A.V., Svarovskaya N.A., Zelenko I.Yu. Modeliruyushchaya sistema bloka reaktorov tekhnologicheskoi linii vysokotemperaturnogo piroliza // Khim. prom-t'. – 1999. – № 7. – S. 30-33.

8. Kravtsov A.V., Novikov A.A., Zelenko I.Yu. i dr. Razrabotka nauchnykh osnov, modelirovanie i optimizatsiya tekhnologii pererabotki goryuchikh iskopaemykh // Izv. TPU. – 2000. – Т. 303. – Вып. 1. – С. 189-208.

9. Medennikov V.I., Sal'nikov S.G., Sergovantsev V.T. i dr. Otchet o NIR «Analiz sostoyaniya i ob"emy informatsionnykh resursov sel'skokhozyaistvennykh predpriyatii v Internet-prostranstve». – VIAPI RASKhN. – 2011.



УДК 537.39:621.315:621.317:614.8

А.Ф. Костюков, Н.И. Черкасова
A.F. Kostyukov, N.I. Cherkasova

АНАЛИЗ ИНТЕГРИРОВАННОГО РИСКА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ЧЕЛОВЕКО-МАШИНЫХ СИСТЕМ

INTEGRATED RISK ANALYSIS OF ELECTROTECHNICAL MAN-MACHINE SYSTEM

Ключевые слова: *человеко-машинная система, электроустановка, интегрированный риск, экспертная оценка, моделирование, прогнозирование.*

В настоящее время широко используются детерминистические и статистические методы анализа техногенной безопасности. Первый подход опирается на классическую теорию надежности технических средств. В основе второго подхода лежат апостериорные методы исследования, в ряде случаев не реализуемые из-за недостатка исходных данных. Преобладание апостериорных методов над классическими, при анализе сложных человеко-машинных систем, приводят к принятию серьезных допущений, не учитывает человеческий фактор, что неизбежно ведет к ошибкам при принятии решений. Существующие трактовки понятия техногенного риска не отражают в полной мере многопараметрические свойства различных электроустановок, неоднородность и неоднозначность описания причинно-следственной цепи про-

исшествий. Целесообразно термины электрической, пожарной, электромагнитной безопасности (или опасности) заменить одним понятием – интегрированным риском электроустановки. Интегрированный риск электроустановки, сформированный на основе анализа методов техногенной безопасности, выраженный через вероятность опасных событий и их последствий, может объективно претендовать на замену им всего многообразия частных показателей, применяемых в настоящее время. Экспертный метод оценки риска ЭУ может быть использован при анализе сложных человеко-машинных систем в условиях неопределенности, когда не только отсутствуют статистические данные по редким опасным событиям с тяжелыми последствиями, но и математические модели, из-за чрезвычайной сложности их формализации. Традиционно метод предполагает использование опыта высококвалифицированных специалистов в рассматриваемой предметной области. Существенным недостатком этого метода является принципиальная невозможность система-