

Статьи по теме моделирования технологических процессов в журнале «Автоматизация в промышленности» — обзор, анализ, перспективы

В.М. Дозорцев (ЗАО «Хоневелл»)

Представлен обзор статей по моделированию ТП, опубликованных в журнале «Автоматизация в промышленности». Приведена детальная статистика указанных статей по тематике и направленности, составу и географии авторов и организаций, размеру, характеру цитирования. Дан анализ изменений параметров статей по годам. Отмечены положительные и проблемные стороны публикаций.

Ключевые слова: моделирование технологических процессов, имитационное моделирование, компьютерные тренажеры, системы поддержки принятия решений, инжиниринг систем управления.

Введение

В минувшем 2013 г. журнал «Автоматизация в промышленности» отметил свое 10-летие. Особенность журнала с первого же его выпуска в январе 2003 г. — обсуждение в каждом номере специальной темы, посвященной различным направлениям промышленной автоматизации. В 132 выпусках за 2003–2013 гг. таких тем было множество, но одна из традиционно повторяющихся — моделирование в системах промышленной автоматизации¹. Эта тема обсуждалась в 11 седьмых (июльских) номерах и дополнительно в номере 11 за 2010 г. и номере 12 за 2013 г.² Некоторые статьи по моделированию выходили в других выпусках журнала. В обзор вошло 137 статей по моделированию, что дает по 1,04 статьи на каждый номер журнала.

Задача настоящего обзора — проанализировать корпус статей по моделированию, выявить (если таковая имеется) их эволюцию по годам и попытаться понять перспективу развития тематики.

Статистика

Итак, за отчетный период опубликовано 137 статей по моделированию от 252 авторов. С учетом множественных публикаций всего авторами выступило 324 человека (1,29 статей на автора). Распределение авторов по числу публикаций характерно для такого рода зависимостей при больших выборках и близко к распределению Парето (рис. 1); для оси ординат использована логарифмическая шкала.

176 авторов на момент публикации владели учеными степенями (из них 43% — докторскими), что составляет 54% от общего числа авторов³ или 1,28 автора со степенью на статью. Работы получены из 41 российского и 9 зарубежных городов. Во всем корпусе статей — 33%



Рис. 1. Распределение авторов по числу статей

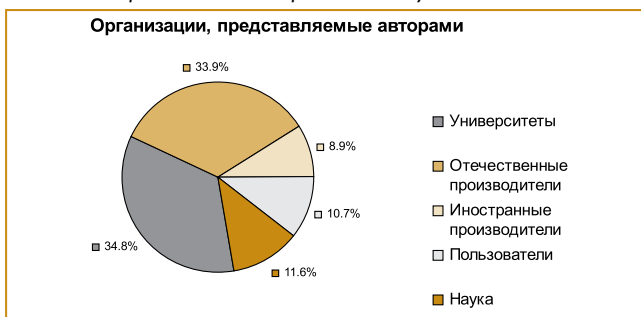


Рис. 2. Типы организаций, представляемых авторами

пришло из Москвы, 16% — из Санкт-Петербурга, 42% — из других российских городов, 9% — из-за рубежа.

Авторы представляли 112 организаций (только одна статья пришла от независимого исследователя из Германии): 33,9% из них — отечественные производители систем автоматизации, 34,8% — университеты, 11,6% — научные учреждения, 10,7% — пользователи и 8,9% — иностранные производители (рис. 2). Иностранные разрабатчики (всего 10 организаций) представлены восемью странами (Украина, Латвия, Германия, Чехия, Австрия, Бельгия, Великобритания, США).

¹ Автоматизация в промышленности. 2003 (NN. 2, 7); 2004 (NN. 6, 7); 2005 (NN. 7); 2006 (NN. 6, 7); 2007 (NN. 7); 2008 (NN. 7); 2009 (NN. 4-7, 9, 12); 2010 (NN. 2, 4, 7, 8, 11); 2011 (NN. 7, 8, 11); 2012 (NN. 7); 2013 (NN. 1, 7, 8, 12).

² В результате в 2010 г. на страницах журнала было опубликовано 27 статей по тематике моделирования, а 2013 г. — 18 статей.

³ Как минимум семеро авторов приобрели ученую степень со времени своей первой публикации в журнале. Наверняка, их больше, но редакция не обладает полными сведениями на этот счет.

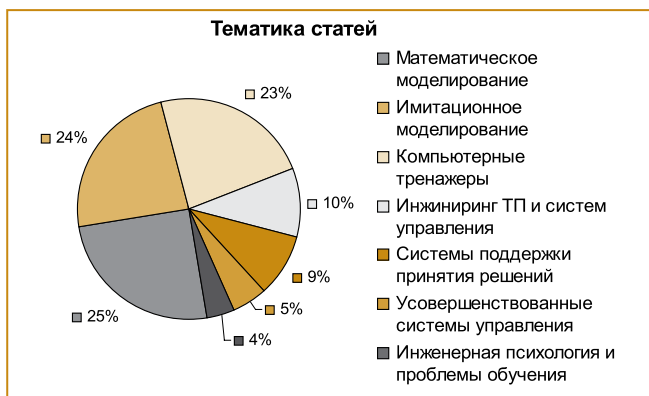


Рис.3. Распределение статей по тематике

Во всем массиве авторов 41% представляли организации производителей (российских и зарубежных), 41,4% университеты, 10,5% — научные институты, 7,1% — пользователи (промышленные предприятия). Это расходится с данными на рис. 2 (42,8%, 34,8%, 11,6% и 10,7% соответственно) и объясняется тем, что представители университетов, очевидно, делегировали больше соавторов в сравнении с разработчиками, научными и промышленными организациями.

Тематика статей, конечно, задавалась предлагаемыми редакцией темами выпусков и ограничивалась исследованием, разработкой и применением моделей ТП в разнообразных задачах автоматизации в режиме *on-line*⁴. (Многочисленные работы по моделированию промышленных объектов в режиме *off-line* — для задач оптимизационного и календарного планирования, оперативного управления и пр. — в настоящем обзоре не рассматриваются.)

Имитационному моделированию были посвящены четыре выпуска журнала, математическому моделированию — три выпуска, разработке компьютерных тре-

нажеров и систем обучения — три выпуска, системам поддержки принятия решений — два выпуска, инжинирингу ТП и систем управления — один выпуск. Однако в работах затрагивался более широкий спектр исследований и разработок. По всему корпусу текстов и с учетом возможности заявить в одной статье сразу несколько направлений моделирования авторы рассматривали: собственно математическое моделирование ТП (25%)⁵, имитационное моделирование (24%), компьютерные тренажеры для обучения операторов (23%), инжиниринг ТП и систем управления (10%), системы поддержки принятия решений (9%), усовершенствованные системы управления на основе прогнозирующих моделей (5%), проблемы инженерной психологии и обучения персонала (4%) (рис. 3).

Что касается *направленности* статей — на разработку, на исследование или на чистый сервис (то есть на использование уже исследованных и доведенных до продуктов результатов), то 42,3% статей были посвящены разработке, 76,6% — исследованиям и только 3,6% сервису (предполагалось, что любая статья может быть разнонаправленной). Соотношение направлений «разработки–исследования–сервис» составило 35% — 62% — 3%, соответственно.

Другой важный параметр — распределение статей по отраслям промышленности (рис. 4). Как и следовало ожидать, большая часть работ может быть отнесена к нефтехимическому комплексу (51%)⁶, энергетике посвящены 13% статей (тепловая энергетика — 8%, атомная — 5%), металлургии — 9% машиностроению — 8%, транспорту (включая автомобильный, железнодорожный, водный и авиационный) — 5%, пищевой и медицинской промышленности — 4%, бумажной промышленности и промышленности стройматериалов — по 1%, остальным отраслям (в том числе, роботостроению, военной промышленности, почтовой связи и пр.) — 8%.

Представляется, что такая статистика отражает степень проникновения верхнего уровня автоматизации (так называемых высокотехнологических решений) в различные отрасли отечественной промышленности. Особо выразительно практически полное отсутствие работ по добыче в углеводородной отрасли (всего 1,5%, или по одной статье о добыче нефти и газа).

«Типовая» статья по моделированию

Довольно большой объем имеющейся выборки позволяет получить представительные средние характеристики статей на тему моделирования. Получается, что «типичная» статья содержит чуть более четырех с половиной журнальных страниц ($\sigma=0,89$); у нее 2,36 ($\sigma=0,41$) авторов, среди них 1,28 ($\sigma=0,35$) обладают учеными



Рис.4. Распределение статей по отраслям промышленности

⁴ Деление задач автоматизации на *on-line* и *off-line* в целом соответствует традиционному разделению задач АСУТП и АСУП, сложившемуся в отечественной автоматизации в советские годы.

⁵ Из них 11% определялись авторами как работы по «новым» методам моделирования (нейронные сети, нечеткая логика, статистическое, ситуационное, событийное, логико-математическое, информационное и пр. виды моделирования).

⁶ Более дифференцировано к общему объему работ: химико-технологические процессы в целом — 20%, нефтепереработка — 11%, нефтехимия — 7%, химия — 5%, промышленность минеральных удобрений, производство резины и шинное производство — по 1%, добыча нефти и газа — по 1%.



Рис. 5. Число статей и авторов по годам

степенями (в подавляющем большинстве — по техническим наукам⁷). На каждую статью приходится 3,6 иллюстраций ($\sigma=1,22$); 4,34 библиографических ссылки ($\sigma=1,3$), из них — 0,7 ($\sigma=0,4$) ссылок на иностранные источники (16% от общего числа ссылок); 1,62 ($\sigma=0,49$) ссылок на себя (37,3%); 0,28 ($\sigma=0,21$) ссылок на журнал «Автоматизация в промышленности» (6%).

Среди авторов «типовой» статьи 41% разработчиков. Шире всего в этой группе представлены начальники отделов (10% от числа всех авторов), генеральные директора (6%), руководители проектов и инженеры — по 5%, заместители генеральных директоров, специалисты (вплоть до ведущих и главных) — по 4%, консультанты всех уровней (2%). Как уже отмечалось, иностранные разработчики (всего 10 организаций) представляли 8 стран.

Наиболее полно представлены авторы из университетов — их 41,4%. Всего в журнале опубликованы 72 статьи из 38 университетов, расположенных в 28 разных городах (три университета — иностранные)⁸. Наиболее часто писали доценты (12% от всех авторов) и профессора кафедр (6,5%), аспиранты (6%), заведующие кафедрами (4%), преподаватели (включая старших) — 3,4%. Но имеются и другие группы — ректоры и проректоры (1% и 2% соответственно), ассистенты (2%), инженеры, магистранты, докторанты, студенты и др. Это, конечно, не удивительно в свете диссертационных планов вузов и требований, предъявляемых в высшей школе к публикациям профессорско-преподавательского состава.

Третья по представительности группа — научные институты (10,5%). Здесь лидируют заведующие лабораториями, ведущие научные сотрудники (по 3,4%) и старшие преподаватели (1,5% от общего числа авторов соответственно). Есть среди авторов директор института, главные научные сотрудники, заведующие секторами. Среди 13 разных научных учреждений — шесть академических организаций и семь отраслевых институтов.

Наконец, среди пользователей (7,1% всех авторов) наиболее активны начальники отделов и главные специалисты (1,2% и 0,9% соответственно), хотя представлены и руководители служб предприятий (главный метролог,



Рис. 6. Тип организаций, представляемых авторами, по годам

главный технолог, начальник производства, заместитель главного инженера и начальника производства, начальник диспетчерской службы), и начальник установки, и инженер. Интересно отметить, что 12 организаций-пользователей расположены в 12 разных городах; среди них — одна иностранная организация (Чехия).

Динамика статей по моделированию

Тема моделирования обсуждается в журнале уже 11 лет. Можно ли заметить какие-то существенные изменения в характеристиках публикаций, и если да, чем они объясняются?

На рис. 5 показано число статей и авторов по годам. Отметим, что технически число средних по объему статей в рамках обсуждаемой темы ограничено 10...12 в отдельном номере. Когда достойных статей оказывалось больше, выходил дополнительный номер. Так было в 2010 г. при обсуждении темы имитационного моделирования для промышленной автоматизации (до публикации дошло 27 статей), и в 2013 г. с темой методов моделирования ТП в современных системах автоматизации (18 статей). С другой стороны, в 2005 и 2007 гг. наблюдался определенный спад (шесть и восемь статей соответственно). В 2005 г. обсуждались системы поддержки принятия решений, причем в 2009 г. та же тема снова набрала восемь статей.⁹ В 2007 г. номер был посвящен моделированию для решения инженеринговых задач. Опять же неверно утверждать, что тема не заинтересовала потенциальных авторов, поскольку помимо восьми статей в главном номере еще 13 статей по инженерингу были опубликованы в других выпусках. Наконец, нельзя не отметить, что за последние годы статей стало больше: начиная с 2008 г. (за исключение одного 2012 г.) ежегодно было не менее 11 статей. Среднее же число статей за 2003-07 гг. составило 9,4, а за 2008-2013 гг. — 15 (общее среднегодовое — 12,5 статей).

Число авторов по годам, в целом, соответствовало числу статей (при среднем числе 2,36 авторов на статью). Однако были и исключения: в 2007 г. — всего 1,5 автора на статью, в 2011 г. — 2,85 автора. За 2003-2007 гг. в сред-

⁷ Среди 176 авторов со степенями только 2 кандидата физико-математических наук, 1 кандидат экономических наук и 1 доктор психологических наук — супертехнологический журнал!

⁸ Рекордсмен по числу статей (15) — Санкт-Петербургский государственный технологический институт.

⁹ Всего в 2009 г. было 13 статей по моделированию (к восьми по теме поддержки принятия решений надо приплюсовать пять статей — в основном обзорного характера).



Рис. 7. Число авторов (из них – с научными степенями) и число страниц на статью по годам

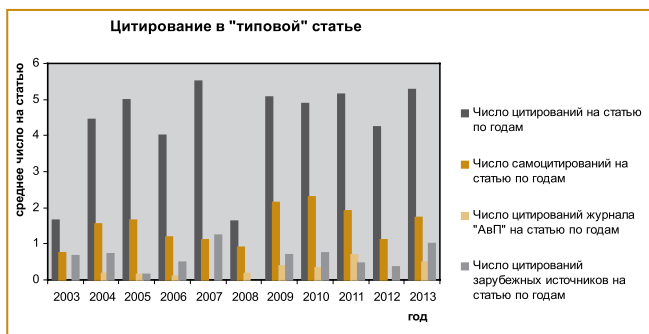


Рис. 8. Параметры цитирования по годам

нем было 2,04 автора на статью, в 2008-2013 гг. — уже 2,53 автора. То есть во второй половине «истории» журнала авторы становились не просто активнее, но и многочисленнее.

На рис. 6 приведена сводка по организациям, представляемым авторами за все годы. В целом картина по годам довольно однородная: в пяти годах из 11 лидировали университеты, в двух — было поровну университетов и отечественных разработчиков, в трех — было больше последних, в одном году лидировали иностранные разработчики (в 2009 г. при обсуждении систем поддержки принятия решений). Таким образом, присутствие организаций в порядке убывания «университеты — отечественные разработчики — иностранные разработчики — научные организации — пользователи» сохраняется более или менее однородным по годам.

На рис. 7 приведена динамика характеристик «типовой» статьи. Как уже отмечалось, со временем росло



Рис. 9. Направленность статей по годам

¹⁰ Общее число «направленностей» на статью больше единицы, поскольку каждая статья может содержать элементы исследований, разработок и сервиса.

среднее число авторов на статью. Увеличилось и число авторов со степенями (от 0,94 в среднем за 2003-2007 гг. до 1,47 в 2008-2013 гг.). Еще заметнее подрастали размеры самой статьи: от 3,85 до 4,97 страниц за указанные периоды. Наконец, росло и число иллюстраций в статье: от 2,64 до 4,1 рисунков на статью. В целом «типовая» статья ощутимо увеличивалась с годами: и по числу авторов (при росте среди них доли «остепененных»), и по размеру, и по числу иллюстраций.

Детали библиографических ссылок даны на рис. 8. Число цитирований выросло с 3,89 в 2003-2007 гг. до 4,58 в 2008-2013 гг. Самоцитирование возросло за те же периоды с 1,21 до 1,83 на статью. Естественно, число ссылок на «Автоматизацию в промышленности» росло по мере увеличения числа выпусков журнала (с 0,09 до 0,38 на статью). К сожалению, за те же периоды несколько снизилось число цитирований зарубежных источников — с 0,85 до 0,62 на статью.

Интересны данные по изменению направленности статей (рис. 9). В течение восьми лет из 11 уверенно лидировали «статьи по исследованиям», причем в 2003-2007 гг. в среднем на статью приходилось 0,7 исследовательских работ, а в 2008-2013 гг. — 0,82 (увеличение незначительное). Число «разработческих» статей за те же периоды резко возросло с (0,23 до 0,53 на статью), хотя и значительно уступало числу «исследовательских» статей. Наконец, число «сервисных» работ было незначительно (всего 5) — это работы (как правило, от конечных пользователей), посвященные практическому использованию готовых решений. Динамика сервисных статей (от 0,09 за 2003-2007 гг. до 0,01 за 2008-2013 гг.)¹⁰ не вполне показательна в силу малости выборки. Неудивительно при этом, что все сервисные работы пришлось на выпуски по компьютерным тренажерам (4 статьи за 2003 г. и 1 статья за 2008 г.).

Итоги десятилетия и перспективы тематики моделирования

Мы благодарны всем авторам за участие в обсуждении столь важной для промышленной практики темы. Оглядываясь на прошедшие годы, не можем не отметить следующие положительные моменты:

- в работах затрагивались самые разнообразные аспекты моделирования в широком спектре отраслей промышленности;

- авторы представляли самые разные профессиональные позиции в организациях разного профиля; география статей по России была весьма обширна;

- динамика статей по моделированию свидетельствует о росте активности авторов, увеличении их числа на статью, росте численных параметров статьи (число страниц, иллюстраций, ссылок);

- важен рост числа статей по разработкам (причем, не в ущерб исследовательским работам).

Вместе с тем нельзя не отметить и следующие проблемные моменты:

— у темы не так много постоянных авторов: в двух статьях участвовало 5,5% авторов, в трех — 5%, в большем числе статей — единицы;

— среди организаций, представляемых авторами, мало пользователей (11% от общего числа). Таким образом, практический опыт разработок (а этому в той или иной степени посвящено 43% работ) описывается преимущественно представителями разработчиков, университетов и научных организаций. Практические статьи приобрели бы дополнительное важное измерение, если бы участие пользователей стало шире;

— было опубликовано крайне мало «сервисных» статей. Возможно, это отражает долю сервисной деятельности в структуре промышленной автоматизации, но задача журнала — идти впереди в этом важном направлении;

— непропорционально высок вес промышленности углеводородов в общем отраслевом пуле (более половины). При всей исключительности этого сектора явно недостаточным было представительство других важных отраслей (целлюлозно-бумажная промышленность, промышленность стройматериалов), практически не было статей по добыче;

— доля иностранного цитирования (16% от общего числа ссылок) хоть и заметна, но могла бы быть выше (тем более тревожно некоторое снижение этой доли по годам). В то же время самоцитирование было высоким (37%) и стабильно росло по годам, что не может не говорить об определенной «капсулированности» авторов.

Тема 7 выпуска журнала за 2014 г. сформулирована максимально широко — моделирование ТП в современных системах автоматизации (специально приветствуются работы по идентификации моделей). Это дает авторам большой выбор задач, поскольку в номере ожидаются статьи по математическому и имитационному моделированию, применению моделей для управления, бизнес-процессов, инжиниринга, поддержки принятия решений, обучения.

В свете вышесказанного редакция ожидает статьи с большим фокусом на разработки и сервис, на новые отрасли промышленности (особенно — добывающие), на широкое цитирование зарубежных источников. Редакция рада всем авторам — и новым, и уже публиковавшимся, и особо приветствует пользователей. Надеемся на продолжение нашего интересного сотрудничества.

Дозорцев Виктор Михайлович — д-р техн. наук, проф., директор департамента высокотехнологичных решений и консалтинга ЗАО «Хоневелл», член редакционной коллегии журнала "Автоматизация в промышленности". Контактный телефон (495) 796-98-00.

Уважаемые Коллеги! В июльском номере 2014 г. планируется обсуждение темы «Методы моделирования ТП в современных системах автоматизации»

Моделирование ТП чрезвычайно востребовано в самых разных отраслях промышленности, а сами модели могут быть весьма разнообразны по методам построения и способам описания объекта. Важно, чтобы моделирование выходных переменных и их учет при выборе воздействий на ход ТП давали качественно новые возможности улучшения характеристик функционирования объекта в сравнении с традиционными методами решения задач управления ТП.

В очередном номере журнала рассмотрим варианты применения методов компьютерного моделирования при решении задач автоматизации сложных ТП, в том числе для идентификации объектов управления. Особо приветствуются работы с описанием имеющегося или предполагаемого практического внедрения результатов.

Подробнее о разделе по идентификации в промышленности

Идентификация объектов в промышленности используется для построения математических (а не механических, физических и т. п.) моделей.

Идентификация может быть:

- 1) одноразовой, когда по экспериментальным данным строится модель, которая затем в неизменном виде используется для различных целей;
- 2) адаптивной, когда построенная модель постоянно корректируется, что необходимо для управления нестационарными объектами. Сами модели используются для различных целей. Вот некоторые из них:
 - 1) определение параметров передаточной функции объекта управления;
 - 2) прогноз поведения объекта;
 - 3) как элемент адаптивных систем управления;
 - 4) как компонент виртуальных датчиков, когда по показаниям легко измеримых датчиков вычисляется значение «дорогого» датчика;
 - 5) как основа для имитационного моделирования неисследованных объектов и т. д.

Для достижения разных целей к моделям предъявляется ряд требований, основными среди которых являются: точность определения параметров объекта; точность прогноза поведения объекта; высокая мера определенности.

Первое требование более сильное, то есть при точном определении параметров прогноз всегда будет точным, но при точном прогнозе параметры могут быть определены совершенно неверно. Основой всех используемых в промышленности алгоритмов идентификации является метод наименьших квадратов и его модификации.

В июльском номере 2014 г. журнала «Автоматизация в промышленности» планируется рассмотреть:

- 1) новые алгоритмы идентификации, использованные для построения моделей конкретных ТП;
- 2) результаты идентификации и достигнутые точности;
- 3) опыт эксплуатации систем управления, содержащих идентификатор;
- 4) опыт получения данных для идентификации с объектов, работающих в режиме нормальной эксплуатации.

Редакция принимает на рассмотрение статьи по моделированию до 1 мая 2014 г.