

Министерство образования и науки Украины  
Харьковский национальный университет  
имени В. Н. Каразина

# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ



ТРУДЫ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ  
КОНФЕРЕНЦИИ

Харьков, 26-31 мая 2016 г.

Харьков  
2016

Утверждено к печати решением Ученого совета Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина (протокол № 5 от 25.04.2016 г.)

**Редакционная коллегия:**

**Азаренков Н.А.** (гл. редактор), д.ф.-м.н., академик  
НАН Украины, проф., ИВТ ХНУ имени В.Н. Каразина

**Гандель Ю.В.**, д.ф.-м.н., проф., ММФ ХНУ  
имени В.Н. Каразина

**Горбенко И.Д.**, д.т.н., проф., ФКН ИВТ ХНУ  
имени В.Н. Каразина

**Доля Г.Н.**, проф., д.т.н., проф. ФКН ИВТ ХНУ  
имени В.Н. Каразина

**Жолткевич Г.Н.**, д.т.н., проф., ММФ ХНУ  
имени В.Н. Каразина

**Куклин В.М.**, д.ф.-м.н., проф., ФКН ИВТ ХНУ  
имени В.Н. Каразина

**Лазурик В.Т.**, д.ф.-м.н., проф., ФКН ИВТ ХНУ  
имени В.Н. Каразина

**Мищенко В.О.**, к.ф.-м.н., доц., ФКН  
ИВТ ХНУ имени В.Н. Каразина

**Пивень В.Ф.**, д.ф.-м.н., проф., ОГУ,  
Россия

**Рассомахин С.Г.**, д.т.н., доц., ФКН ИВТ  
ХНУ имени В.Н. Каразина

**Стервоедов Н.Г.**, к.т.н., доц., ФКН ИВТ  
ХНУ имени В.Н. Каразина

**Харченко В.С.**, д.т.н., проф., НАУ  
имени Н.Е. Жуковского

**Шульга Н.Ф.** д.ф.-м.н., акад. НАНУ,  
проф., ННЦ ХФТИ НАНУ

**Адрес редакционной коллегии:** 61022, г. Харьков, пл. Свободы, 6,  
ХНУ имени В.Н. Каразина, факультет компьютерных наук, к. 5-34.  
Тел. +38 (057) 705-42-81, Email: Victor.O.Mischenko@univer.kharkov.ua

Доклады, включенные в сборник, отражают следующие направления: математическое моделирование физических процессов, моделирование информационных процессов в сложных и распределенных системах, системы автоматизированного сбора и когнитивного представления научных данных, анализ процессов в радиационных, плазменных и других современных технологиях, моделирование транспортных процессов и систем, безопасность информационных систем и технологий, верификация и оценка надежности программного обеспечения.

Для преподавателей, научных работников, аспирантов, студентов вузов.

Доповіді, що увійшли до збірника, відбивають такі напрямки: математичне моделювання фізичних процесів, моделювання інформаційних процесів в складних та розподілених системах, системи автоматизованого збору та когнітивного подання наукових даних, аналіз процесів в радіаційних, плазмових та інших сучасних технологіях, моделювання транспортних процесів і систем, безпека інформаційних систем і технологій, верифікація та оцінка надійності програмного забезпечення.

Для викладачів, наукових працівників, аспірантів, студентів вишів.

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени В. Н. КАРАЗИНА  
ННЦ ХАРЬКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
MAX PLANCK INSTITUTE OF MICROSTRUCTURE PHYSICS  
КИЕВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ТАРАСА ШЕВЧЕНКО  
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АВТОМОБЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
РОВЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГУМАНИТАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени Н. Е. ЖУКОВСКОГО (Харьков)  
ЗАО «ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ» (Харьков)  
LINKÖPING UNIVERSITY (Linköping, Sweden)  
ХЕРСОНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
TEAM INTERNATIONAL SERVICES, INC. (Lake Mary, USA)

**ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ:**

Азаренков Н.А., акад. НАНУ, проф., д.ф.-м.н., Харьков, председатель

Бардачев Ю. Н., проф., д.т.н., Херсон

Бомба А.Я., проф., д.т.н., Ровно

Буй Д. Б., проф., д.ф.-м.н., Киев

Гандель Ю.В., проф., д.ф.-м.н., Харьков

Гецович Е.М., проф., д.т.н., Харьков

Горбенко И.Д., проф., д.т.н., Харьков

Доля Г.Н., проф., д.т.н., Харьков

Жолткевич Г.Н., проф., д.т.н., Харьков

Dr. Oleksiy Vozniy (Linköping)

Куклин В.М., проф., д.ф.-м.н., Харьков

Лазурик В.Т., проф., д.ф.-м.н., Харьков

Мищенко В.О., проф., д.т.н., Харьков

Савула Я. Г, проф., д.ф.-м.н., Львов

Рассомахин С.Г., доц., д.т.н., Харьков

Стервоедов Н.Г., доц., к.т.н., Харьков

Харченко В.С., проф., д.т.н., Харьков

Хомченко А.Н. проф., д.ф.-м.н., Николаев

Шматков С.И., доц., д.т.н., Харьков

Шульга Н.Ф., акад. НАНУ, проф., д.ф.-м.н., Харьков

Яновский В.В., проф., д.ф.-м.н., Харьков

**ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ:**

Лазурик В.Т., д.ф.-м.н., декан ФКН ХНУ имени В.Н. Каразина, председатель,

Мищенко В.О., д.т.н., проф. каф. МСТ в ХНУ имени В.Н. Каразина, зам. председателя,

Абрамов Г.С., к. ф.-м.н., доц. ХНТУ, Артюх А.А., зав. лаб. в ХНУ имени В.Н. Каразина,

Булавин Д.А., к.т.н., доц. ХНУ имени В.Н. Каразина,

Гахов А.В., к.ф.-м.н., Германия, Гецович Е.М., д.т.н., проф. ХНАДУ,

Дюльдя С.В., к.ф.-м.н., ХФТИ, Есин В.И., к.т.н., доц. ХНУ имени В.Н. Каразина,

Жолткевич Г.Н., д.т.н., проф., декан ФМИ ХНУ имени В.Н. Каразина,

Зиновьев Д.В., ст. преп. ХНУ им. В.Н. Каразина,

Рассомахин С.Г., д.т.н., зав. каф. БИСТ в ХНУ имени В.Н. Каразина,

Стервоедов Н.Г., доц., к.т.н., зав. каф. ЭУС ХНУ имени В.Н. Каразина,

Dr. Andriy Styervoyedov, Max Planck Institute of Microstructure Physics

Семко С.О., исполнительный директор TEAM International,

Толстолужская Е.Г., д.т.н., проф. ХНУ имени В.Н. Каразина,

Шматков С.И., д.т.н., зав. каф. ТПС в ХНУ имени В.Н. Каразина.

<http://www.univer.kharkov.ua>

<http://www-htuni.univer.kharkov.ua>

УДК 658.51.012

ХОДУСОВ В.Д., ПИГНАСТЫЙ О.М.

## ОБ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СТАТИСТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Одной из основных тенденции развития современного промышленного производства является постоянное сокращение продолжительности жизненного цикла производимых изделий. Это, приводит к тому, что с одной стороны производственные линии значительную долю времени функционирует в переходном неустановившемся режиме [1], с другой стороны, время, отводимое на поиск режима управления технологическими участками поточной линией сокращается, исчисляется минутами или даже секундами [2]. В связи с этим при проектировании систем управления производственными линиями для переходных режимов в последнее десятилетие особое внимание уделяется использованию совершенно новых типов моделей управляемых производственных процессов [3], а также программ и алгоритмов управления ими. Применение распространенных квазистатических моделей становится недопустимым. О высокой актуальности проблемы свидетельствует тот факт, что ведущие мировые предприятия (Intel Corporation, Volkswagen AG, Royal Philips) наряду с финансированием многочисленных научных грантов, создали экспериментальные лаборатории по исследованию переходных режимов [4]. Процесс управления современным производством усложняется тем, что поточные линии предприятий являются многономенклатурными, состоят из значительного количества технологических операций, в межоперационных заделах которых находится большое число предметов труда, используют множество разных видов технологических ресурсов. Технологические маршруты изделий разных номенклатур пересекаются. Многие технологические операции выполняются на одном и том же оборудовании, что требует расстановки приоритетов обработки и потребления ресурсов. Для управления поточной линией используются многомерные системы управления, сложность которых достигла предела. Обзор современных публикаций [5] показал, что для описания работы поточных линий задействованы три основных типа моделей: модели теории массового обслуживания (TQ-модели), дискретно-событийные модели (DES-модели), модели жидкости (Fluid-модели). Первый тип моделей используются для одномоментного описания поточных линий из небольшого количества операций, функционирующих, как правило, в установившемся квазистатическом режиме. Второй тип моделей требуют для этого больших затрат вычислительных и временных ресурсов в связи с многократной имитацией технологического процесса, состоящего из значительного количества технологических операций, в межоперационных заделах которых содержится большое количество предметов труда. Многолетний опыт применения DES-моделей компанией Интел показывает, что результаты вычислений хорошо совпадают с результатами эксперимента, но расчетное время значений параметров поточной линии составляет около суток [4]. Это делает невозможным их эффективное применение. Третий тип моделей (Fluid-модели) ориентированы на малое количество интервалов разбиения технологического маршрута и линейные стационарные решения. Основные причины, не позволяющие эффективно использовать данные модели – это высокая размерность и сложность построения замкнутой многомоментной нелинейной системы уравнений, что снижает точность описания. Широко известна их разновидность, представленная направлением системной динамики. Каждый тип рассмотренных моделей имеет свои преимущества, но ни один из них в полной мере не подходит для полноценного описания поточных линий. Комбинирование и совершенствование моделей, а также наличие единообразных задач планирования и управления производством привело к созданию единой теории производственных систем с поточным способом организации производства [6], в рамках которой стоявшие у ее истоков Graves S.C. (1986), а позднее Karmarkar U.S. (1989) предложили использовать единые параметры, определяющие состояние системы: пропускную способность, объем незавершенного производства  $W$  и длительность производственного цикла  $T_d$  и ввели уравнение состояния (clearing-функции), которое задавало связь между ними [7]. Это

позволило упорядочить описание, но не устранило основные недостатки, т.к. для построения уравнения состояния использованы существующие дискретно-событийные модели, модели массового обслуживания и жидкости. Развитие производства требовало новые методы решения задач. Концентрация усилий исследователей над решением поставленных задач привела к дальнейшему развитию предложенного подхода [8-10]. В последнее десятилетие для проектирования поточных линий разработаны модели, содержащие уравнения в частных производных (PDE-модели), в которых уравнения состояния являлись основным элементом [10]. PDE-модели позволили учесть влияние внутренних факторов производства и имеющиеся технологические ограничения. Существенным преимуществом PDE-моделей является то, что они позволили описать движение предметов труда от операции к операции, допускают решение в аналитическом виде и не нуждаются в значительных вычислительных ресурсах.

Данные экспериментальные исследования показали, что предложенные PDE-модели достаточно хорошо описывают поведение параметров поточной линии для установившихся режимов, и неудовлетворительно для переходных. В связи с этим дальнейшее развитие современного поточного производства потребовало замены квазистатической теории более совершенными, позволяющими построить модели управляемых производственных процессов для переходных неустановившихся режимов функционирования поточной линии с учетом механизма взаимодействия предметов труда с технологическим оборудованием и между собой в рамках заданной технологии производства, а также разработать методы расчета программ и алгоритмов управления производственными процессами для переходных неустановившихся режимов. Проведенный анализ современных достижений и нерешенных задач в области моделирования поточных линий [1-10] позволил сформулировать основные направления исследования в данной области (рис.1-3):

**1. Направление №1 (рис.1). Разработка предметно-технологического описания управляемого производственного процесса, основанного, на стохастическом механизме переноса технологических ресурсов на предмет труда в результате воздействия оборудования, позволяющем моделировать производство продукции нескольких номенклатур разными технологическими способами в условиях совместного использования технологических ресурсов и производственного оборудования.**



Рис. 1. Разработка предметно-технологического описания управляемого производственного процесса

**2. Направление №2 (рис.2). Разработка потокового описания управляемого производственного процесса [8-10], основанного на кинетическом представлении**

технологического процесса. Разработка двухуровневых моделей производственного процесса, в которых нижний уровень (микроуровень), представленный детальным предметно-технологическим описанием производственного процесса, взаимосвязан и самосогласован с верхним уровнем (макроуровнем), представленным потоковым описанием



Рис. 2. Разработка потокового описания управляемого производственного процесса

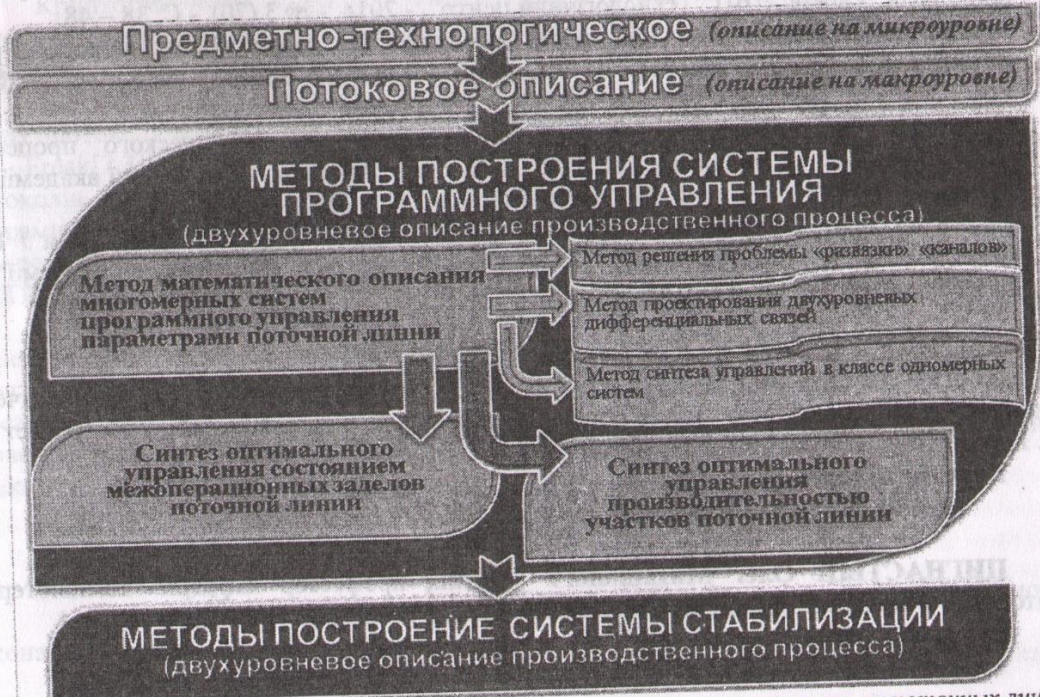


Рис. 3. Разработка методов проектирования систем управления параметрами поточных линий

3.Направление №3 (рис.3). Разработка методов проектирования систем управления параметрами поточных линий, основанных на многомментной двухуровневой PDE-модели управляемого производственного процесса, а также разработка методов проектирования

систем стабилизации параметров поточных линий для переходных режимов функционирования, которые наряду с требованием асимптотической устойчивости невозмущенного состояния параметров, определенных программой управления, позволяют учитывать требования о наилучшем качестве перехода к невозмущенному состоянию.

Изложенным выше направлениям исследования производственных поточных линий посвящен настоящий доклад.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пигнастый О. М. Анализ моделей переходных управляемых производственных процессов / О. М. Пигнастый // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Белгород: БГУ. - 2015. - № 35/1. - С. 133-144
2. Vollmann T.E. Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management. / T.E.Vollmann, L.Berry, D.C.Whybark, F.R.Jacobs – McGraw-Hill, New York, 2005. – P. 520.
3. Пигнастый О. М. О новом классе динамических моделей поточных линий производственных систем / О. М. Пигнастый // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Белгород: БГУ. - 2014. - № 31/1. - С. 147-157
4. Armbruster D. Continuous models for production flows. In Proceedings of the 2004 American Control Conference. / Armbruster D., Ringhofer C., Jo T- J. – Boston, MA, USA, 2004. – P. 4589 – 4594.
5. Пигнастый О. М. Обзор моделей управляемых производственных процессов поточной линии производственных систем // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Белгород: БГУ. - 2015. - № 34/1. С.137-152
6. Пигнастый О. М. Использование PDE-моделей для построения единой теории производственных линий / О. М. Пигнастый // Вісник Херсонського національного технічного університету. Херсон: ХНТУ. - 2014. - № 3 (50). - С. 405 –412.
7. Пигнастый О. М. Основы статистической теории построения континуальных моделей производственных линий // О. М. Пигнастый // Східноєвропейський журнал передових технологій. Харків: НВП "Технологічний центр". - 2014. - № 3 (70). - С. 38 – 48.
8. Armbruster D. Kinetic and fluid model hierarchies for supply chains supporting policy attributes. Bulletin of the Institute of Mathematics Academia Sinica (New Series), – 2007. – Vol. 2 №2. – P. 433 – 460.
9. Азаренков Н. А. О законе возрастания энтропии технологического процесса / Н. А. Азаренков, О. М. Пигнастый, В. Д. Ходусов // Доповіди Національної академії наук України. - Київ: Видавничий дім "Академперіодика". - 2012. -№5 - С. 32-37.
10. Азаренков Н.А. Кинетическая теория колебаний параметров поточной линии / Н. А. Азаренков, О. М. Пигнастый, В. Д. Ходусов // Доповіди Національної академії наук України. 2014. № 12. – С. 36 – 43.

**ХОДУСОВ Валерий Дмитриевич**– д.ф.-м.н, заведующий кафедрой Теоретической ядерной физики и высшей математики, Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина

Научные интересы:

- *статистическая теория*

**ПИГНАСТЫЙ Олег Михайлович** – д.т.н., профессор кафедры компьютерного мониторинга и логистики, Национальный Технический Университет "ХПИ",

Научные интересы:

- *статистическая теория*

Наукове видання

**«Комп'ютерне моделювання в наукоємних технологіях» (КМНТ-2016).  
Праці міжнародної науково-технічної конференції  
Харків, 2016**

**Збірник наукових праць**

**Українською, російською та англійською мовами**

**Комп'ютерне верстання О.О. Афанасьєва**

1. Кудряв А.А. КИД релятивістських пучків О-типу с урахуванням імпульсних характеристик // Радіотехніка та електроніка. - 1997. - Т. 44. - С. 2179-2182.

2. Litavskii I. Electrodynamics from a quasistatic perspective // I. Litavskii, A.M. J. Phys. 2007. vol. 75, No. 2, pp. 230-239.

3. Писенко К. Гамма-кінематична модель для Green's function charged-particle-beam simulation in cylindrical geometry // K. Pysenko, I. Litavskii // IEEE Trans. Plasma Sci. - 2011. - vol. 39, No. 2. - pp. 659-667.

4. Carlson B.E. Green's function simulation of space-charge effects in electron beams // B.E. Carlson, W.B. Hagena, W.T. Ryckert, P.J. Tallpher // IEEE Trans. Plasma Sci. - 2006. - vol. 34, No. 2. - pp. 240-249.

5. Hertz M. Green's function based space-charge field solver for electron source simulations // M. Hertz, J. B. D. Boston // Proc. 2007. - vol. 10, No. 2. - pp. 240-249.

6. Ginzburg V.L. The wave potential and electromagnetic field for a charge moving arbitrarily in a medium // V.L. Ginzburg // J. Plasma Phys. 1978. - vol. 20, No. 2. - pp. 381-390.

Підписано до друку 25.04.2016 р. Формат 60×84/8. Папір офсетний. Друк ризограф.  
Ум. друк. арк. - 36,6. Обл.- вид.арк.- 42,5. Тираж 110 пр. Ціна договірна.

61022, м. Харків, майдан Свободи, 4

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна.

Видавництво

Надруковано з готового оригінал-макету у друкарні ФОП В. В. Петров  
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.

Запис № 24800000000106167 від 08.01.2009 р.

61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34.

e-mail:bookfabrik@mail.ua