УДК 681.3;65.011.56:004.3

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Прохоренков А.М., Истратов Р.А.

ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет», Мурманск, e-mail: prohorenkovam@mstu.edu.ru

В статье рассмотрены методы создания систем для реализации интеллектуального управления перегрузочными процессами в морском порту. Движение грузопотоков требует постоянного решения единичных ситуационных транспортных задач оперативного планирования и управления. Построение дорогих логистических систем для решения этих задач экономически неэффективно. Поэтому основными требованиями для создания таких систем является быстрое создание и безболезненная их ликвидация по выполнению задачи, низкие издержки на создание и эксплуатацию. Показано, что использование методов виртуальных технологий позволяет разработать и реализовать структуру виртуального предприятия. Применение методов виртуальных предприятий необходимо для оперативного поиска технологии нерегулярных промышленных грузопотоков с построением логистической системы доставки грузов от промышленного предприятия (поставщика) к потребителю. Функционирование инфраструктур, входящих в состав морского порта, а также их информационное взаимодействие с поставщиками грузов и грузополучателями, входящими в состав транспортной системы, математически описать невозможно. Это связано со сложным видом алгоритмического описания функционирования оборудования, входящего в состав технологических процессов обработки различных видов грузов. В работе показано, как полученные математические модели управления процессами перемещения грузопотока минеральных удобрений позволяют с помощью пакета MATLAB решать задачу оптимизации различных по содержанию вариантов перемещения сыпучих грузов в пределах перегрузочного комплекса. Моделирование различных вариантов перемещения сыпучих грузов необходимо для обеспечения заданной интенсивности погрузки судна, с учётом различных факторов, в том числе и погодных. Разработанная модель позволяет решать задачи планирования выполнения работ по обработке грузов на терминалах морских портов.

Ключевые слова: информационные технологии, морской порт, интеллектуальное управление, виртуальное предприятие, модель, перегрузочный комплекс

INTELLIGENT SYSTEM FOR OPERATIONAL CONTROL OF AN INDUSTRIAL ENTERPRIZE

Prokhorenkov A.M., Istratov R.A.

Murmansk State Technical University, Murmansk, e-mail: prohorenkovam@mstu.edu.ru

Methods for the design of systems for intelligent control of overload processes in a seaport are considered. Movement of cargo flows requires constant solutions of singular situation transportation tasks for operational planning and control. Design of expensive logistic systems for solution of these problems is economically inefficient. Therefore, the basic requirements for the creation of such systems are their rapid realization and painless liquidation when the solution of a problem is over, low expenses on their creation and operation. It is shown that application of methods of virtual technologies allows to design and to implement a structure of a virtual enterprise. Application of methods of virtual enterprises is needed for necessary for quick search of a technology for irregular industrial cargo flows, together with the design of a logistic system for cargo delivery from an industrial plant (a supplier) to a consumer. Functioning of infrastructures within a seaport, as well as their communication with suppliers and consumers of loads within a transport system, is mathematically impossible to describe. It is caused by a complex algorithmic description for functioning of an equipment within technological processes for processing cargoes of various types. It is shown how obtained mathematical models for control of processes for moving traffic of mineral fertilizers allow using MATLAB to solve the problem of optimization for handling of bulk cargoes different by contents, within an overload complex. Modeling of different options for handling of bulk cargoes is needed in order to provide a set intensity of ship loading taking into account various factors including the weather. The designed model gives ability to solve tasks for planning the execution of works on cargo handling in seaport terminals.

Keywords: information technologies, seaport, intelligent control, virtual enterprise, model, overload complex

Анализ современного состояния практики управления в технических системах показывает на необходимость создания средств автоматизации, позволяющих в реальном масштабе времени осуществлять оптимальное управление технологическими процессами (ТП). Реализация такого подхода возможна только при наличии интегрированных информационно-управляющих систем (ИУС), обеспечивающих решение широкого круга задач в автоматизированных системах управления (АСУ) ТП. В существующих системах управления отсутствуют компоненты, обеспечивающие решение аналитических (не говоря об интеллектуальных) задач. Это связано с тем, что реализация, например, функций поддержки принятия решений оперативным персоналом АСУ ТП требует от разработчиков этих систем не только знаний своей предметной области, но также и знаний об особенностях технологических процессов и управления ими, то есть знаний, относящихся к иной предметной области. Для разработчиков ИУС проще ограничиться созданием унифицированной информационной

системы типа SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition System). При оценке ситуаций и принятии решений оперативный персонал, используя предоставляемую ему информацию, будет действовать по старинке, то есть без интеллектуальной поддержки со стороны таких систем. В статье рассмотрена реализация методов интеллектуализации для управления перегрузочными процессами в морском порту.

Постановка задачи

Создание интеллектуальных систем (ИС) новых поколений для управления сложными ТП в различных условиях взаимодействия с внешней средой является одной из актуальных задач практических приложений методов искусственного интеллекта и когнитивного моделирования в целом [1, 3]. Функциональные возможности и интерфейс ИС существенно зависят от возможностей формализованного описания и полноты использования всего многообразия математических методов обработки данных. В связи с этим актуальна задача разработки специального формального аппарата, обеспечивающего единообразное представление моделей, синтезированных посредством различных методов и средств, с целью унификации операций их обработки в вычислительной среде [1–4].

Методы интеллектуализации процессов управления

В настоящее время получены практические результаты исследований, использующих для оперативного решения интеллектуальных задач управления промышленными предприятиями виртуальные методы организации и управления [2, 3]. Отметим технологии, за счет которых стало возможным внедрение в технологический процесс промышленных систем методов виртуального предприятия (ВП). К числу основных технологий по управлению, планированию и проектированию на производстве следует отнести: CAE, CAD, CAM, SCM, ERP, MPR-2, SCADA, CNC, CRM, S&SM и другие системы, которые входят в системы управления данными CPC или PLM [3].

Внедрение CRM-систем в реальном времени позволяет без изменения технологии работы увеличить производительность труда до 20 раз с практически двукратным увеличением доходов [2]. Применение методов ВП необходимо для оперативного поиска технологии нерегулярных промышленных грузопотоков с построением логистической системы доставки грузов от промышленного предприятия (поставщика) к потребителю и снижения трудоемкости получения технологических решений [2, 4]. Решение отмеченных выше задач возможно только при создании интеллектуальных систем (ИС) для управления сложными, слабоформализованными системами при использовании методов ВП в различных условиях взаимодействия. Функциональные возможности и интерфейс ВП существенно зависят от возможностей формализованного описания проявлений действительности и полноты использования всего многообразия математических методов обработки данных.

Для построения полимодельных комплексов используются два базовых принципа: принцип предельных обобщений и принцип полимодельной дополнительности и конкурентности. Несмотря на важность каждого принципа в отдельности, главный смысл предлагаемого подхода заключается в их глубинной взаимосвязи, что позволяет создавать самоорганизующиеся ИС, которые способны сохранять и улучшать свои параметры в процессе функционирования путем самообучения и самоорганизации на основе внутренней активности системы [1]. В предлагаемом решении все параметры и переменные моделей будем называть тестами. Пусть $\{\tau\}$ – множество элементарных тестов, с помощью которых описываются все факторы, обстоятельства и явления, имеющие отношение к разработке ВП. Элементарность теста означает, что результат теста представим в виде «тест = значение». Конкретный результат теста τ будем обозначать через τ. Результаты тестов могут выбираться из разных доменов баз данных. Для фиксации того, что в качестве множества результатов теста τ используется домен T, будем использовать нотацию τ/T. Используя разные домены, можно управлять общностью результата одного и того же теста [1, 3].

Реализация интеллектуальной системы управления предприятием

Движение грузопотоков требует постоянного решения единичных ситуационных транспортных задач оперативного планирования и управления подчиненных индивидуальным целям функционирования. Построение дорогих логистических систем для этих задач экономически неэффективно. Поэтому основными требованиями для создания таких систем является быстрое создание с оптимальным потреблением ресурсов, безболезненная ликвидация по выполнению задачи, низкие издержки на создание и эксплуатацию. Применение методов ВП необходимо для оперативного поиска технологии

нерегулярных промышленных грузопотоков с построением логистической системы доставки грузов от промышленного предприятия (поставщика) к потребителю и снижения трудоемкости получения технологических решений [2, 3]. Полученная при этом технологическая цепочка (TS_{PT}) с централизованным управлением (U_{VE}) является виртуальным транспортным предприятием – VLP_T (рис. 1).

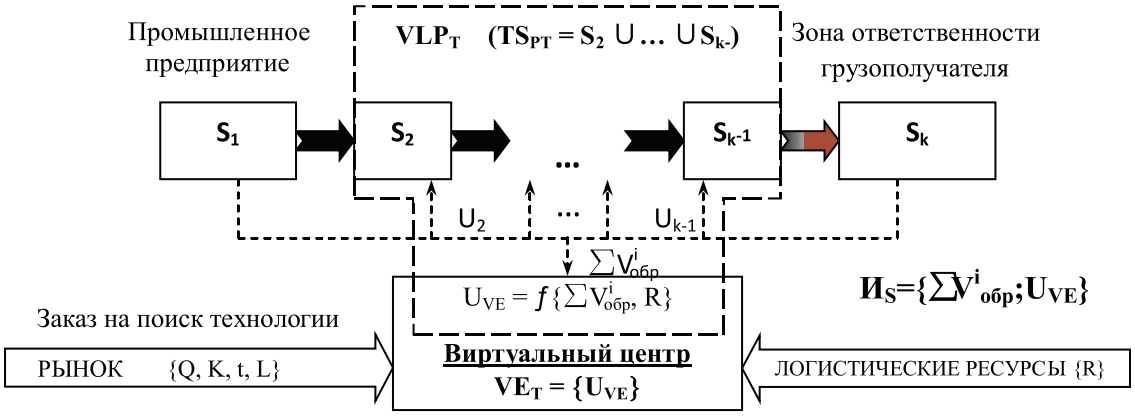

Рис. 1. Виртуальное транспортное предприятие

➡ – переходные процессы технологических операций;

S_1 – хранение готовой продукции на складе промпредприятия;

S_2, …, S_{k-1} – последовательность операций технологической цепочки доставки грузов от промышленного предприятия к потребителю;

S_k – операция после передачи промышленных грузов покупателю;

Q, K, t, L – соответственно величина, критерий оптимизации, время протекания и географические координаты зарождения и поглощения грузопотока, заданные как исходные данные к поиску технологических решений;

$И_S$ – информационные связи элементов логистической системы с виртуальным центром.

Управление в системе осуществляется при помощи виртуального центра (VE_T), как реакция на обратную связь ($\sum V^i_{обр}$) от элементов технологической цепочки и пунктов зарождения (S_1) и поглощения (S_k) грузопотока и логистические ресурсы (R) [1, 2].

Задача построения логистической системы грузопотока морского порта – LS, управляемой виртуальным центром (U_{VE}), основывается на принципах π, принадлежащих общим принципам транспортных систем ($\pi \in P$). Соответственно транспортные процессы нерегулярной грузопереработки f выбираются из множества существующих транспортных технологий $F(\pi)$ так, что $f \in F(\pi)$, а для выбранных транспортных процессов были подобраны необходимые транспортные средства $\overline{A}$ из средств A $(\overline{A} \in A)$. Для решения поставленной выше задачи необходимо найти значения параметров логистической системы (R_S), зависящих от накладываемых ограничений D_S, взаимосвязей элементов транспортной сети $И_S$ и изменяемых во времени критериальных оценок $K_t(v(t-\delta), \sigma)$ параметров системы. При условии минимизации целевой функции транспортного процесса $(C_{опт}(t+\tau) \to \min)$ и адаптации критерия K_t к возмущающему воздействию во времени t.

Информационное взаимодействие процессов функционирования терминалов морского порта

Функционирование инфраструктур, входящих в состав морского порта, а также их информационное взаимодействие с поставщиками грузов и грузополучателями, входящими в состав транспортной системы, математически описать невозможно. Это связано со сложным видом алгоритмического описания функционирования оборудования, входящего в состав технологических процессов обработки различных видов грузов, например, апатита, минеральных удобрений, угля, нефтепродуктов, контейнеров, труб и прочих. Рассмотрим возможность описания процессов, протекающих в цепях поставок транспортных систем, с использованием методов имитационного моделирования, математическим объектом которых являются дискретные динамические системы. Дискретная динамическая система DC^{ml}, описываемая имитационной моделью $iml \in t_{im}$, будет рассматриваться как структура разнотипных компонентов

технологических процессов, функционирование которых определено в пространстве состояний на некотором общем интервале времени. Это время будем отображать в имитационных моделях модельным временем $\tau^{iml} \in R[0,\infty]$. Поведение структуры компонентов имитационной модели $K^{DC^{ml}} = \left\{k_i^{DC^{ml}}\right\}$ является множеством всех отображений $k_i^{DC^{ml}} : \tau^{iml} \to C^{iml}$, которые описываются ступенчатыми функциями от времени. Тогда любое траекторное движение $k^{DC^{ml}} \in K^{DC^{ml}}$ дискретной системы DC^{ml} будет описывать изменение состояния технических средств доставки и обработки грузов на интервале модельного времени τ^{iml}. В пространстве состояния на траекториях дискретных систем будем различать локальные *LS* и глобальные события *GS* [4]. Тогда событие LS_i^{iml} с номером *i* траектории $k^{DC^{ml}}$ компонента DC^{ml}, можно определить в пространстве состояния и в функции времени как

$$LS_i^{iml} = \left\langle k_i^{DCml}, t_i^{iml} \right\rangle.$$

Рассмотрим использование метода имитационного моделирования процессов на примере функционирования терминала минеральных удобрений Мурманского морского торгового порта [5]. Общая модель деятельности терминала минеральных удобрений может быть записана как кортеж и имеет вид

$$DTMU = <OP, RP, Z, MF, PK>,$$

где компоненты кортежа: *OP* – множество основных процессов, протекающих в терминале; *RP* – множество собственных ресурсов, участвующих в погрузочно-разгрузочных работах; *Z* – множество заявок на осуществление погрузочно-разгрузочных работ, поступающих от клиентов порта; *MF* – множество метеорологических факторов, влияющих на работу порта; *PK* – множество показателей качества логистического обслуживания.

Полученная матрица функций путей деятельности терминала минеральных удобрений имеет следующий вид:

$$W = [W8\ W7\ W6\ W5\ W4\ W3\ W2\ W1].$$

Она позволяет осуществлять моделирование прохождения груза минеральных удобрений на территории терминала. Например, при прохождении пути: вагон – склад 3 будут задействованы транспортеры 1002, 1003, 1004, 1005, 1006 или функции *W*1, *W*4, на позиции функции пути в матрице ставится 0 или 1 в зависимости от того, проходит ли путь через функцию или нет. Матрица в таком случае будет представлена в виде функции путей

$$W = [0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1].$$

Таким образом, на входе модели должна находиться информация о выбранном пути транспортировки груза, а на выходе – матрица функций путей, определяющих, через какие транспортеры проходит сигнал.

На рис. 2 представлена модель, реализованная в пакете Simulink, и диаграмма Stateflow соответственно. Реализация алгоритма матрицы перемещений осуществляется подачей «0» или «1» на соответствующий вход блока Chart. Входы Rt_1, Rt_2, Rt_3, Rt_4 предназначены для задания маршрутов перемещения минеральных удобрений (таблица).

Маршруты перемещения минеральных удобрений

Rt_1	Склад 1 – Судно
Rt_2	Склад 2 – Судно
Rt_3	Склад 3 – Судно
Rt_4	Вагон – Судно

В блок Weight вводится количество груза в тоннах, которое необходимо погрузить на судно. Блоки Store 1, Store 2, Store 3 отображают количество груза в тоннах, которое находится на складах 1, 2, 3 соответственно. Блок Number of trucks показывает количество вагонов, находящихся на путях для разгрузки.

После ввода всех изначальных данных и выбора маршрута производится запуск программы. После этого в блоке Time отображается время в часах, необходимое для выполнения заданной операции погрузки. В блоках Store 1 after, Store 2 after, Store 3 after отображается количество груза, которое осталось на соответствующих складах. Блок Error предназначен для вывода сообщения об ошибке.

Заключение

Рассмотренные в статье подходы по реализации интеллектуального управления перегрузочными процессами на предприятии в морском порту с использованием методов виртуальных технологий позволили разработать структуру виртуального предприятия. Полученные математические модели управления процессами перемещения грузопотока минеральных удобрений позволяют решать с помощью пакета MATLAB задачи планирования выполнения работ по обработке грузов на терминале.

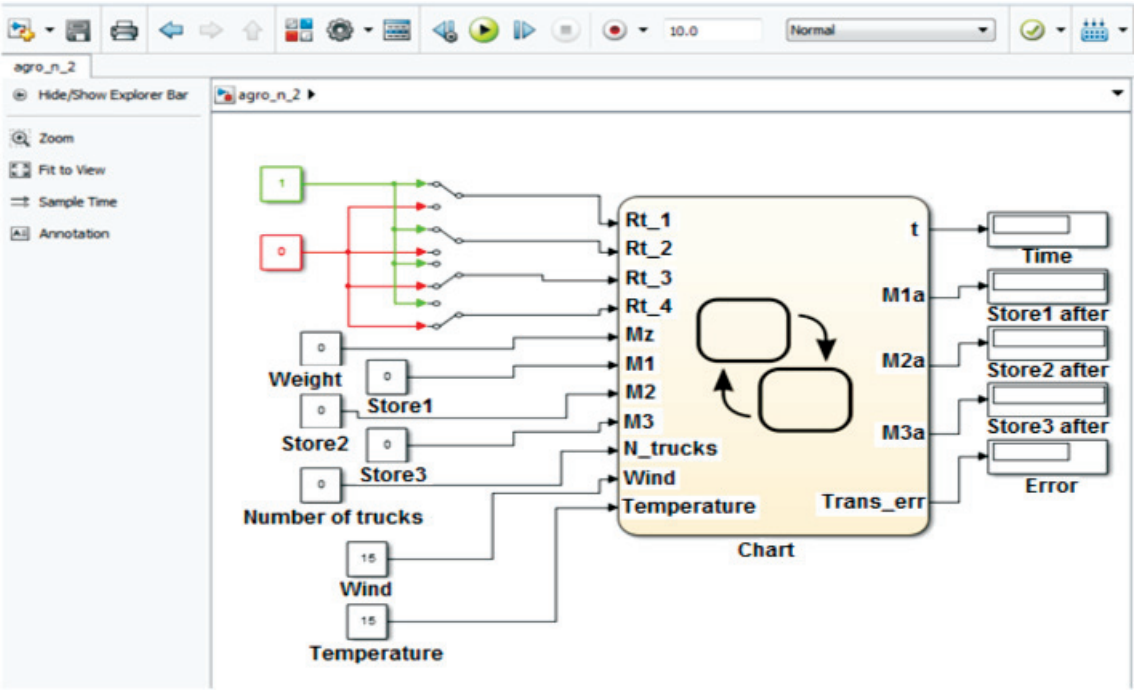

Рис. 2. Состав программы для решения задачи моделирования процесса перегрузки удобрений

Список литературы

1. Алпатов А.П., Прокопчук Ю.А., Прохоренков А.М. Задачи построения полимодельных комплексов сложных и слабоформализованных систем // Информационные технологии в управлении сложными системами: сб. докладов научн. конф. (г. Днепропетровск, 24 июня 2011г.). – Днепропетровск: Свидлер А.Л., 2011. – С. 122–126.

2. Киркин А.П., Киркина В.И. Формализация методов виртуального предприятия направленных на совершенствование технологии нерегулярных грузопотоков // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2009. – Вип. № 19. – С. 280–283.

3. Прохоренков А.М., Истратов Р.А. Разработка информационной структуры порта в составе транспортного узла // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2011: сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции. – Вып. 4. Т. 1. – Одесса: Черноморье, 2011. – С. 85–91.

4. Прохоренков А.М., Истратов Р.А. Координирующая информационная система управления инфраструктурами транспортного узла // Вестник МГТУ: труды Мурм. гос. техн. ун-та – 2013. – Т. 16, № 1. – С. 148–156.

5. Прохоренков А.М., Истратов Р.А. Математическое моделирование управления перегрузочными процессами в морском порту // Мир транспорта. – 2013. – № 1. – С. 20–28.

References

1. Alpatov A.P., Prokopchuk Yu.A., Prokhorenkov A.M. *Zadachi postroeniya polimodelnikh kompleksov slozhnikh I slaboformalizovannykh sistrm. Sb. Dokladov hauchn. konf. «Informatsionnye tekhnologii v upravlenii slozhnymi sistemami» (g. Dnepropetrovsk, 24 iyunya 2011 g.). Dnepropetrovsk: Svidler A.L.,* 2011, pp. 122–126.

2. Kirkin A.P., Kirkina V.I. *Formalizacija metodov virtual'nogo predprijatija napravlennykh na sovershenstvovanie tehnologii nereguljarnykh gruzopotokov. Visnik Priazov. derzh. tehn. un-tu: Zb. nauk. pr. – Mariupol'*, 2009, Vip. no. 19, pp. 280–283.

3. Prokhorenkov A.M., Istratov R.A. *Razrabotka informacionnoj struktury porta v sostave transportnogo uzla. Sbornik nauchnyh trudov SWorld. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Sovremennye problemy i puti ih reshenija v nauke, transporte, proizvodstve i obrazovanii 2011».* Vypusk 4. Vol. 1. Odessa: Chernomor'e, 2011, pp. 85–91.

4. Prokhorenkov A.M., Istratov R.A. *Koordinirujushhaja informacionnaja sistema upravlenija infrastrukturami transportnogo uzla. Vestnik MGTU: trudy Murm. Gos. tehn. un-ta*, 2013. Vol. 16, no. 1, pp. 148–156.

5. Prokhorenkov A.M., Istratov R.A. *Matematicheskoe modelirovanie upravlenija peregruzochnymi processami v morskom portu*. Mir transporta, 2013, no. 1, pp. 20–28.

Рецензенты:

Совлуков А.С., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва;

Середа В.И., д.т.н., профессор, проректор по информационным технологиям и дистанционному обучению МГТУ, заведующий кафедрой высшей математики и программного обеспечения ЭВМ, г. Москва.

Работа поступила в редакцию 16.08.2013.