

DIE ENTWICKLUNG EINES SIMULATIONS- UND SERVICEZENTRUMS FÜR GEGEBENES GEGENSTANDSGEBIET

Cheptsov, O., Svjatnyj, V., Hohmann, R.

Fakultät für Rechentechnik und Informatik (FRTI)

Nationale Technische Universität Donezk, Artemstr. 58, 83000, Ukraine

lex@cs.dgtu.donetsk.ua

1. Einführung

Die Kohleindustrie ist vertreten durch Kohlegruben, ihre territorial und bergbautechnisch bedingte Verwaltungssysteme sowie Infrastrukturen, welche die Kohlelieferung, Energieversorgung, Zulieferung von Verbrauchsmaterialien und andere wirtschaftliche Funktionen erfüllen. Die Kohlegruben stellen eine Klasse von komplexen Betrieben dar und umfassen dynamische Objekte wie Grubenbewetterungsnetze (GBN), Transport- und Fördersysteme, Elektroenergiesysteme, Gasabsaug- und Wasserhabpumpensysteme, die zunehmende Bedeutung für die Gewährleistung von sicheren und effizienten Arbeitsbedingungen unter Tage haben. In unseren vorherigen Arbeiten wurden die mathematischen Modelle von luft- und gasdynamischen Prozessen hergeleitet, die mit ausreichender Genauigkeit die einzelnen Komponenten und die Grubenbewetterungssysteme insgesamt beschreiben. Modelle für andere obige Objekte sind vorhanden oder werden an der NTU Donezk erarbeitet. Für die systematische Modellanwendung als einer modellgestützten Lösung von Sicherheits-, Automatisierungs- und Verwaltungsproblemen in den ukrainischen Kohlegruben wird im Rahmen der Forschungsk Kooperation von FRTI mit IAS, ISR und dem ISG der Universität Magdeburg die Entwicklung des Simulations- und Servicezentrums (SSZ) [1] fortgesetzt. Im Beitrag werden die Fragen der Organisation dieser Entwicklung sowie die erzielten Ergebnisse diskutiert.

2. Die Anforderungen an das SSZ

Die vorhandene Erfahrung der Modellierung und Simulation von bergbautechnischen Problemen, eine Analyse des Entwicklungs- und Einsatzstandes der informationstechnischen Unterstützung der Grubenverwaltung sowie der Prozessautomatisierung zeigen, dass vorgeschlagenes SSZ den folgenden Hauptanforderungen genügen soll: benutzerfreundliche interaktive Vorbereitung der für die zu lösenden Aufgaben

relevanten grafischen und numerischen Daten; Integration mit den vorhandenen und entwickelten Grubeninformationssystemen durch eine Dekomposition und Zuordnung der simulationsgestützten Lösungen zu den entsprechenden Ingenieurdiensten und Arbeitsplätzen; eine dem Gegenstand angemessene Darstellung von Simulationsmodellen mit praxisnahen, leicht erlernbaren Simulationsabläufen und deren für den Betrieb hilfreichen Ergebnissen; an der Praxis orientierte Vollständigkeit der Hierarchie von Lösungsalgorithmen und ihre Erweiterbarkeit auf alle Ebenen; die Gewährleistung von realistischen betriebsnahen Vorhersagelösungen; die Realisierbarkeit von Trainingssimulatoren für die Mitarbeitern, die sich mit den sicherheitskritischen Prozessen und Ereignissen beschäftigen; eine Fähigkeit der SSZ-Ressourcen zur rechnergestützten Anpassung an die Bergbaubedingungen von vorgegebenen Gruben; Bereitstellung der parallelen Rechenressourcen für die datenintensiven und zeitkritischen Simulationsabläufe; systemtechnische SSZ-Strukturierung als verteiltes Rechnernetz unter Verwendung von modernen Informationstechnologien.

3. Hierarchie von Modellen, Lösungsalgorithmen und Simulatoren

Die im SSZ zu lösende Bergbauprozessaufgaben werden nach Betriebsprinzip in folgende Tätigkeitsrichtungen (TR) verteilt: Sicherheitstechnik und Bewetterung; Technologie der Kohlegewinnung; Energieversorgung; Transport- und Fördersysteme; Entwässerungssysteme; Prozessautomatisierung; Verwaltung; Bergbauökonomieverfahren. Jede von diesen Tätigkeitsrichtungen wird auf bergbaubedingten sechs Hierarchieebenen dargestellt: Prozessebene, Betriebsabteilungsebene, Ebene der Abteilungsverbindungen, Grubeebene und zwei Verwaltungsebenen – Kohlevereinerung mit den Sicherheitsbehörden und Ministeriumsdepartment. In Abb.1 wird diese Hierarchie in der Tabellenform gezeigt.

Entwicklungen der TR-Modelle sind die Gegenstände von Forschungsarbeiten der bergbautechnisch orientierten Fakultäten der NTU Donezk. Dabei soll entsprechend den obigen Anforderungen für jeden **IJ(IK)-Objekt** der Abb.1 (**I**-Ebene, **J**-Tätigkeitsrichtung, **IK**-Prozess bzw. Objekt) folgendes Modellierungsprozess realisiert werden: Modell – Simulationsmodell – Lösungsalgorithmus – Implementierung – Simulator. Als ein Entwicklungsergebnis entsteht für alle Tätigkeitsrichtungen eine Hierarchie von Modellen, Lösungsalgorithmen und Simulatoren, die entsprechend der Abb.1 horizontale lose Verbindungen zwischen den **I**-Ebeneobjekte ($I=const$) verschiedenen TR ($J=1,2...8$) und eng gekoppelte funktionell-topologische Zusammenhänge zwischen den **I(IK)**-Objekte von vorgegebenen TR ($J=const$) besitzt.

Anhand der modellgestützten Lösungen der sicherheits- und bewetterungstechnischen Aufgaben werden von uns dieser Hierarchie die folgenden luftgasdynamischen Modelle zugeordnet:

Tätigkeits- richtung Hierar- chie- ebene	Sicherheits- technik und Bewetterung	Kohlegewinn- technologie	Energie- versorgung	Transport- und Förder- systeme	Entwässerungs- systeme	Prozess- automa- tisierung	Ver- waltung	Bergbau- ökonomie- verfahren
Prozess- ebene	1 Ort 2 Strecke 3 Alter Mann 4 Ortsent- ziehung 5 Luftschleuse	1 Gewinnmaschinen 2 Festungs- mechanismen 3 Schichtenplanung	1 Objekte des Energieverbrauchs 2 Objekte der Energielieferung	1 Transport- schnecken 2 Fließbandern 3 Lufförder- technik 4 Förderstufe	1 Pumpen 2 Wasser- sammel- anlagen unter Tage 3 Röhre	1 Messgeräte 2 Lokale Regler 3 Lokale Auto- matisierungs- systeme		
Kohle- gewinn- abteilungen (KGA)	1 KGA- Bewässerungs- schemata 2 KGA-Bewet- terungsautoma- tisierungssystem 3 Lokale Bewetterung 4 Gasqualitäts- vorhersage	1 KGA-Gewinn- anlagen 2 KGA-Arbeitspläne 3 Manövrierdaten für KGA	1 KGA-Elektro- energieversorgung 2 KGA-Elektro- schemata	1 KGA-Trans- portsysteme 2 KGA-Bunker	1 KGA- Entwässer- system	1 KGA-Auto- matisierungs- subsysteme (Bewetterung, Gewinnan- lage)		
KGA über- greifende Ebene	1. Q-Mehrtales Regelersystem 2. Gruppenregler 3. Schleusenregler 4. Vorhersage	1 Vereinbarung der KGA-Arbeiten 2 Verteilung der Ressourcen für KGA	1 Verteilungs- system für KGA	1 Integration der KGA-Transport- systeme	1 Wasser- sammler- und Zwei- schleusenpumpen	1 Subsysteme des Oriben- automa- tisierungs- systems 2 TRSU- systeme		
Gruben- ebene	1 Hauptabteilungen mit Reglersysteme 2 Automatisierungs- systeme für Sicherheit und Bewetterung	1 Bergbautechnik 2 Bergbautech- nische 3 Abbaupläne 4 Koordination der Abbauarbeiten mit anderen TR 5 Kohleflöz- vorbereitung	1 Oriben-Elektro- energiesystem	1 Oribenof- unter Tage 2 Transport- system unter Tage 3 Förderer- system 4 Transport- systemTagebau 5 Kohleabfah- rungssystem	1 Grubenent- wässerungs- system 2 Umwelt- wasser- aufgaben	1 Oriben- automa- tisierungs- system 2 TRSU- systeme		
Kohle- vereinigung	1 Sicherheits- behörden 2 Oriben- Abmessungen Prüfung des Oriben- Zustandes 3 Sicherheits- statistik	1 Analyse der Technologien						
Ministerium	1 Sicherheits- inspektion 2 Sicherheits- statistik							

Abbildung 1. Tabellarische Darstellung der Modellhierarchie

11(1). **Strebsmodell** stellt die mathematische Beschreibung der luft- und gasdynamischen Prozesse, die im Ausgangsluftstrom $QS(t)$ des Strebs die Methankonzentration $Cs(t)$ formieren, dar. Ein Streb (St) wird bei der Herleitung von Gleichungen als Objekt mit verteilten Parametern gemäß der Strebortskoordinaten $0 < x < l$, $0 < y < b$, $0 < z < h$ (l , b , h sind die Länge, Breite und Höhe) mit der Berücksichtigung der vorhandenen Methanquellen, Luftströme, Strebsgeometrie und des Betriebszustandes der installierten Abbautechnik betrachtet.

11(2). **Streckemodell mit verteilten Parametern** unterscheidet sich zwischen der Ventilations- (VS)- und Förderstrecke (FS) sowie zwischen der luft- und gasdynamischen Prozesse, aber die Herleitung der Gleichungen berücksichtigt dieselbe physikalisch bedingte Prozesse und ähnliche Parametern: eine Bewegung der Luft mit den oder ohne

Luftverluste (für FS) und Luftzuflüsse (für VS) der Strecke entlang, die Kontinuität der Ströme, die Zusammenhänge mit den aerodynamisch verbundenen Alter Mann und Streb, die FS-, VS-Geometrie, die Randbedingungen, örtlich konzentrierter regelbarer Widerstand $RRVS(t)$ des VS-Luftstromreglers. Die Verhalten der Methankonzentrationen $CFS(t)$, $CVS(t)$

sind von Prozesse $QS(t), Cs(t)$ im Streb und $QAM(x,z,t), CAM(x,z,t)$ im Alten Mann abhängig.

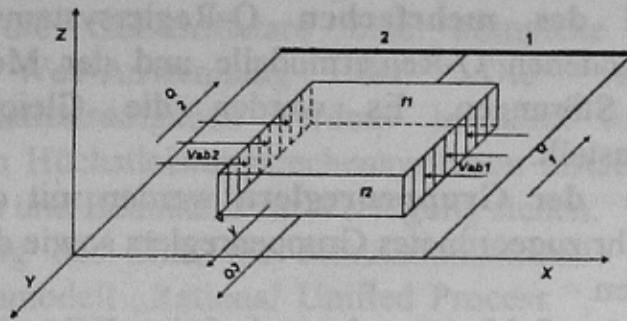
11(3). **Modell des Alten Mannes.** Ein Raum, der nach der Abbau des Kohleflözes entsteht und in ein Luftfiltrationsmedium umgewandelt wird, nennt man in der Bergbautechnik als Alter Mann (AM). Dreidimensionales AM-Modell wird mit folgenden Voraussetzungen hergeleitet: die Luftfiltration entsteht wegen der örtlich verteilten Druckdifferenz zwischen den Strecken und des vorhandenen nichtlinearen aerodynamischen AM-Widerstandes; Methan filtrierte in verteilten AM-Luftstrom aus der definierten Quellen (Randbedingungen), sodaß erscheint der Ventilationsstrecke entlang ein Luftmethanmischungszufluss $QAM(x,z,t)$ mit der Methankonzentration $CAM(x,z,t)$ gemäß der Ortskoordinaten $0 < x < L, 0 < z < h$ (L ist eine Streckelänge, h – die AM-Höhe); der Zufluß $QAM(x,z,t)$ verursacht einen VS-Formierungsprozess des resultierenden Luftmethanmischungstroms $QVS(x,z,t)$ mit der Methankonzentration $CVS(x,z,t)$. Die Randbedingungen für luftdynamische AM-Prozesse sind die FS-, St- und VM-Modelle sowie die Druckfunktionen in FS- und VS-Knoten des Bewetterungsnetzes.

11(4). **Strebentgasungsmodell** beschreibt das Flözesfeld als Methanquelle und eine Schema der Zuordnung von Entgasbohrungen. Dieses Modell wird von uns zusammen mit dem Institut für Bergbausicherheitstechnik entwickelt.

11(5). **Ventilationsschleusenmodell** beschreibt die Anlage, die aus zwei regelbaren oder vordefinierten unveränderlichen aerodynamischen Widerständen besteht und schützt das Bewetterungsnetz von den Luftstromkurzschlüssen. Kontinuierlicher Modellteil beinhaltet die Gleichungen des Schleuseluftstroms, der Hin- und Rückbewegung der Tore (Türen), der als aerodynamischen Widerstand dargestellten Transportbewegung in den Grenzen der Schleuswirkung. Diskreter Teil des Modells stellt die Schaltungselemente sowie die logische Bedingungen ihrer Funktionierung bei der Transportdurchlassung dar. Beide Teile charakterisieren die Schleusanlage als ein Automatisierungsobjekt.

21(1). **Modell der Bewetterungsschemata der Kohlegewinnabteilungen (KGA).** Es wurden die in der Kohleindustrie funktionierte KGA-Bewetterungsschemata (144 Varianten) analysiert, klassifiziert und zu den 6 Varianten typisiert. Ein Modell der KGA-Bewetterungsschema beinhaltet die Topologiedarstellung von Verbindungen zwischen den Strecken, Streben und Alten Männer sowie die mathematische Beschreibung der aerogasdynamischen Prozesse in den genannten Abbauten. Es wird das Modell der in Abb. 2 gezeigten KGA-Bewetterungsschema detailliert dargestellt. Als ein Modell der KGA-Ebene beinhaltet es die enggekoppelte obige 11(1)...11(3)-Modelle. Die KGA-Topologie (Abb.2) wird als ein Fragment des Grubenbewetterungsnetzes dargestellt und mit der KGA-Tabelle 1 kodiert. Das Luftmodell-Gleichungssystem hat die Gleichungen für zwei Förderstrecke, zwei Streben und

zwei Alten Männer, sowie für die mit beiden AM verbundenen gesamten Ventilationsstrecken (Abb. 2).



$$-\frac{\partial p_i}{\partial \xi} = \frac{2\rho}{F_i^2} Q_i \frac{\partial Q_i}{\partial \xi} + \frac{\rho}{F_i} \frac{\partial Q_i}{\partial t} + r_i Q_i^2 + r'_i Q_i^2 \quad (1)$$

$$-\frac{\partial p_i}{\partial t} = \frac{\rho a^2}{F_i} \frac{\partial Q_i}{\partial \xi} + \frac{\rho a^2}{F_i} q_i \quad (2)$$

$$-\frac{\partial p_3}{\partial y} = -\frac{2\rho}{F_3^2} Q_3 \frac{\partial Q_3}{\partial y} + \frac{\rho}{F_3} \frac{\partial Q_3}{\partial t} + r_3 Q_3^2 + r'_3 Q_3^2 \quad (3)$$

$$-\frac{\partial p_3}{\partial t} = \frac{\rho a^2}{F_3} \frac{\partial Q_3}{\partial y} + \frac{\rho a^2}{F_3} (q_1 + q_2) \quad (4)$$

$$-\nabla P_{ii} = \frac{\rho}{m_i} \frac{\partial v_i}{\partial t} + p \left(\frac{\rho v}{k_j} + \frac{v_i}{l_i} \right) v_i \quad (5)$$

$$-\frac{\partial p_i}{\partial t} = \frac{\rho a^2}{m_i} \nabla v_i \quad (6)$$

Abbildung 2. Mathematische Beschreibung der luftgasdynamischen Prozesse im Teil des Grubenbewetterungsnetzes

Das Gasmodell-Gleichungssystem ist für alle KGA-Type verwendbar und wird auch nach Beschreibung der gasdynamischen Prozesse in vorgeschriebenen Punkten der Strebe und der Ventilationsstrecke orientiert.

21(2). **Modell des Automatisierungssystems (AS) von KGA-Bewetterungsschemata.** Ein Automatisierungssystem der KGA-Ebene beinhaltet die in den vorgeschriebenen Abbautenorten installierten Q- und C-Messgeräte, lokaler Digitalregler mit den Informationsverbindungen zu der nächsten AS-Ebene und die Anlage des regelbaren aerodynamischen Widerstandes. Alle AS-Komponenten wurden formal beschrieben.

21(3). **Modell der örtlichen Bewetterung.** Die örtliche (in Unterschied zur zentralen) Bewetterung wird mit Hilfe der speziellen Ventilatoren und Luftführern für die Abbauarbeiten in neu gebauten Strecken durchgeführt. Es wurden die Gleichungen hergeleitet, die eine Luftquellstrecke, örtliches Ventilationssystem, die Bewetterung des geschlossenen Arbeitsraums mit der Q- und C-Prozesse vor Ort und des Luftführern entlang bis der Verbindung mit der Strecke beschreiben.

21(4). **Modellgestützte Vorhersage der Gassituation** wird mit dem Modell 21(1), das durch deterministische Abbauprozessmodelle sowie stochastische Modelle der Gasstörungen ergänzt wird, durchgeführt.

31(1). **Modell des mehrfachen Q-Reglersystems** besteht aus über Netzmodell verbundenen Q-Reglermodelle und der Modelle von aero- und gasdynamischen Störungen. Es werden die Gleichungssysteme dieser Modellebene dargestellt.

31(2). **Modelle der Gruppenreglern** werden mit der Gleichungen der Gruppenstrecke, ihr zugeordnetes Gruppenreglers sowie der untergeordneten Q-Reglern beschrieben.

31(3). **Modell des Schleusereglers**. Auf den KGA-übergreifenden Ebenen können regelbare Schleuse installiert werden, die bei der Transportdurchfahrt einen vorgeschriebenen Q-Sollwert automatisch behalten sollen. Zum oben geschriebenen Schleusemodell wurde das Modell der gemeinsam funktionierten Torregler, die mit dem Transportdurchgang synchronisiert werden.

Für die Grubenebene 4 wurden die **Modelle** der Hauptventilatoren 41(1), der Grubenbewetterungsnetze (GBN) als Objekte mit konzentrierten 41(2) und verteilten Parametern 41(3), unifiziertes Modell des GBN-Automatisierungssystems 41(4), das Modell des GBN- Reversierungssystems 41(5), modellgestütztes Plan der Hawarieliqidierung 41(6) sowie ein Modell des Grubenentgasungssystems 41(7) entwickelt.

Es wurden die Trainingssimulatoren 51(1) für die Sicherheitsbehördendienste und modellgestützte Prüfungen des GBN-Zustandes 51(2) vorgeschlagen.

Die oben vorgestellten Modelle wurden in zwei Varianten entwickelt und realisiert - die sequentielle und parallele Modelle.

4. Informationstechnische Organisation und Entwicklung des SSZ

Es wurde eine Struktur des SSZ vorgeschlagen (Abb.3). Das SSZ soll über eine territorial verteilte und vernetzte Hardware- und Softwareressource verfügen, deren system- und informationstechnische Organisation obigen Anforderungen entspricht. Strukturell basieren die Simulationsressourcen des SSZ auf drei Hardwarekomponenten: den Arbeitsplätzen der SSZ-Benutzer, den Server-Rechnern, den parallelen Rechnern.

Benutzer des SSZ sind die an diesem Projekt beteiligten Gruben, Grubenvereinigungen und die Entwicklungsinstitutionen, deren Arbeitsplätze ans Internet angeschlossen sind. Die Software- und Hardware-Plattformen der SSZ-Benutzer können unterschiedlich sein, was bei der Entwicklung des SSZ durch einen Multiplattform-Ansatz berücksichtigt werden muss. Die Haupt-SSZ-Server werden von den Arbeitsplätzen am IAS und an der FRTI dargestellt. Sie unterstützen die Server-Aufgaben vom verteilten System und erfüllen die entstehenden Administrierungsfunktionen.

Der SSZ-Prototyp verfügt über folgende parallele MIMD-Rechner: Intel Paragon (FRTI), NEC SX-6 (HLRS), die PC-Cluster mit PC-Arbeitsplätzen im SSZ-Raum (NTU Donezk, Universität Stuttgart, Universität Magdeburg).

Strukturell stellt die SSZ-Software eine komplexe verteilte multiplattformabhängige Web-Anwendung dar. Die rechenaufwendigen datenintensiven Simulationsaufgaben werden in Form von Web-Diensten entworfen, die auf den Höchstleistungsrechner-Systemen installiert werden und den Modellentwicklern und Benutzern zur Verfügung stehen.

Bei der Entwicklung des SSZ, der Simulationsmodelle und Simulatoren werden das Vorgehensmodell „Rational Unified Process“, Werkzeug „NET-Framework“ sowie UML-Notation verwendet. Die algorithmische SSZ-Organisation wurde durch Entwurf der Use Case, Activity, Sequence, Collaboration und Class UML-Diagramme erfolgt. Für die Beschreibung der SSZ-Strukturorganisation wird UML-Deployment-Diagramm benutzt [2].

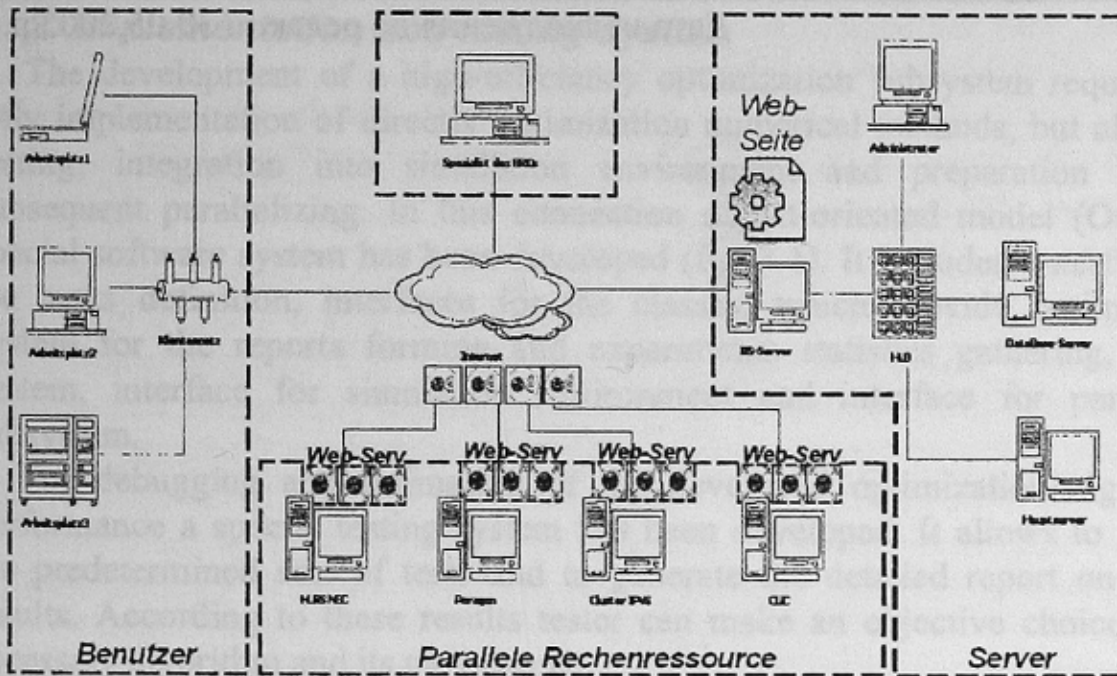


Abbildung 3. Informationstechnische Struktur des SSZ für die Kohleindustrie.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Der erste SSZ-Prototyp wurde implementiert und anhand von Beispielen der sicherheitstechnischen modellgestützten Aufgabenlösungen experimentell untersucht. Die weiteren Arbeiten setzen die enge Kooperation mit der Grube „Süddonbass-3“ voraus und konzentrieren sich einerseits auf weitere industrielle Implementierungen, eine modellgestützte Anpassung von Automatisierungssystemen an die Bergbaubedingungen, die praktische

Erprobung und den Einsatz der entwickelten Algorithmen, sowie andererseits auf die Einführung der neuen UML-Erfahrungen in das Gebiet der Erarbeitung und Inbetriebnahmen von verteilten Informations- und Simulationsumgebungen.

Literatur

- [1] *W. Bär, R. Galasov, V. Lapko, O. Moldovanova, A. Pererva, D. Rasinkov, V. Svjatnyj*: Das Simulations- und Service-Zentrum für automatisierte Grubenbewetterungsnetze. In: Möller *D. P. F.* (Hrsg.): Tagungsband 14. ASIM-Symposium Simulationstechnik, Hamburg 2000, SCS Europe BVBA, Ghent/Belgium 2000, 223-228
- [2] *Joao M. Fernandes, Francisco J. Duarte*: A reference framework for process-oriented software development organizations. *Software and Systems Modeling*, Volume 4, Number 1, February 2005, Pages: 94 – 105

Дата надходження до редакції 30.05.2005 р.