

**И. В. КОНОНЕНКО**, д-р техн. наук, проф., зав. каф. стратегического управления НТУ «ХПИ»;

**И. И. БАБИЧ**, ассистент каф. стратегического управления НТУ «ХПИ»

## МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНОВ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ УКРАИНЫ

В статті розглянуто задачу планування розвитку галузі промисловості України, яка представлена імітаційною моделлю науково-технологічного розвитку видів економічної діяльності. Запропоновано модель оптимізації планів розвитку окремої галузі промисловості в трьохкритеріальній постановці, з алгоритмічними й аналітичними цільовими функціями та обмеженнями.

В статье рассмотрена задача планирования развития отрасли промышленности Украины, которая представлена имитационной моделью научно-технологического развития видов экономической деятельности. Предложена модель оптимизации планов развития отдельной отрасли промышленности в трехкритериальной постановке, с алгоритмическими и аналитическими целевыми функциями и ограничениями.

The problem of planning of Ukrainian branch of industry development which is presented with the imitation model of scientific-technological development of economic activities is considered in this article. The model of optimization of plans for development of a particular branch of industry with three criteria and algorithmic and analytic objective functions and constraints is proposed.

**Введение.** Определяющая роль промышленного производства в развитии современной цивилизации и прогрессе человечества является безоговорочной. Промышленность является с одной стороны продуктом общественного прогресса, а с другой – его генератором. Она определяет территориальную дифференциацию в развитии мирового хозяйства. Именно промышленность является основным фактором, который приводит к экономической отсталости многих регионов и даже целых стран. Промышленность является одной из ведущих отраслей экономики, которая является основой для научно-технического и экономического роста и социального прогресса общества. Вместе с другими отраслями экономики она оказывает существенное влияние на социально-экономическую ситуацию в стране, обеспечивая реализацию национальных интересов.

Промышленность – это самый важный сектор народно-хозяйственного комплекса Украина. На нее приходится 40% общеукраинского выпуска товаров и услуг, 80% их экспорта, треть основных фондов и более 35% населения, занятого в народном хозяйстве [1]. Ведущая роль промышленности в экономике Украины определяется, прежде всего, тем, что, обеспечивая все отрасли народного хозяйства орудиями труда и новыми материалами, она является наиболее активным фактором научно-технического прогресса и расширенного воспроизводства в целом. Темпы роста, уровень развития и структура промышленности – важные показатели

не только количественной, но и качественной характеристики народного хозяйства и жизненного уровня населения.

**Состояние и тенденции развития промышленности Украины.** Отраслевая структура промышленности Украины является достаточно полной и охватывает следующие базовые отрасли: машиностроение, металлургию, приборостроение, обрабатывающую, легкую, перерабатывающую промышленности и прочие. Среди наукоемких отраслей можно выделить авиакосмическую, автомобилестроительную, тяжелое машиностроение, инструментальную, электротехническую, приборостроительную, радиоэлектронную, кораблестроительную. Технологические возможности украинских предприятий позволяют производить большинство предметов современной техники. При производстве используются все современные базовые технологии мировой промышленности: производство новых материалов, заготовительные, механико-обрабатывающие, термические, нанесение покрытий, а также нанотехнологии.

Значительные искажения в институциональных основах экономического развития и структуре доходов основных секторов стали благоприятной средой для усиления негативных тенденций в развитии отраслевой структуры экономики Украины и особенно углубления деформаций в структуре промышленности страны. На протяжении последнего десятилетия наблюдается ускоренное развитие ее низко технологических (за исключением машиностроения) отраслей с применением преимущественно устаревших технологий путем повышения уровня использования имеющихся мощностей. Так, за период 1990–2005 гг. в структуре производства промышленной продукции возросла доля черной металлургии – с 11,0% до 27,4%, электроэнергетики – с 3,2% до 12,2%, топливной промышленности – с 5,7% до 10,1%. Вместе с тем снизилась доля пищевой промышленности – с 18,6% до 17,4%, легкой промышленности – с 10,8% до 1,6%, а машиностроения и металлообработки – с 30,5% до 13,2% [1].

При этом доля высокотехнологичных производств в Украине не только остается слишком низкой, но и приобрела тенденцию к сокращению. Особенно угрожающим является отставание в развитии добывающей и перерабатывающей промышленности, которые формируют два первых из стратегических секторов экономики. Развитие данных видов промышленности в настоящее время является одним из главных факторов повышения уровня конкурентоспособности и обеспечения устойчивого динамичного роста национальных экономик. В развитых странах мира в отличие от Украины эти производства получают опережающее развитие, которое сопровождается структурными сдвигами в сторону роста их доли, как в общем выпуске промышленности, так и экономики в целом.

Согласно Межгосударственному статистическому комитету СНГ [2] промышленность Украины пострадала больше всех среди стран СНГ от мирового финансово-экономического кризиса конца 2008 г. Так, падение

промышленного производства по итогам 2009 г. в сравнении с 2008 г. составило 22%. Снижение производства в России и Беларуси за этот же период составило 11% и 3% соответственно. В соответствии с данными Министерства экономики Украины [3] в 2009 г. наихудшая ситуация среди отраслей промышленности страны наблюдалась в машиностроении, химической и нефтехимической, металлургической, деревообрабатывающей, текстильной и легкой промышленности, в которых снижение объемов производства составило 25–45%. Менее пострадали отрасли электроэнергетики и пищевой промышленности, где снижение производства составило 10% и 6% соответственно.

**Постановка задачи.** Отмеченные негативные тенденции, развивающиеся в отраслевой структуре промышленности Украины, и последствия финансового кризиса ставят перед существующим правительством задачу разработки и внедрения комплекса мер, направленных на преодоление спада в промышленности страны и реформирование отраслевой структуры для повышения конкурентоспособности страны на мировых рынках. Для решения поставленной задачи требуется предварительная оценка эффекта от внедрения тех или иных мероприятий, выраженная неким набором количественных показателей. Это приводит к необходимости разработки адекватных математических моделей, с помощью которых будет возможно оценить последствия от реализации тех или иных вариантов развития отраслей и промышленности в целом и выбора оптимальной стратегии развития на среднесрочную перспективу.

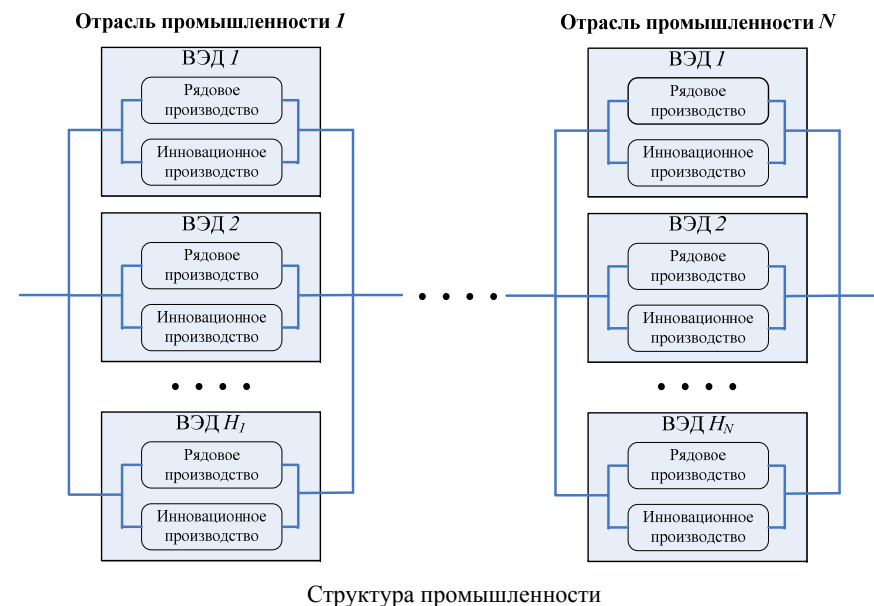
**Целью** данной статьи является разработка модели оптимизации развития отдельной отрасли промышленности Украины по ряду критериев для заданного периода планирования с использованием имитационной модели научно-технологического развития видов экономической деятельности Украины [10, 11].

**Анализ существующей литературы** показывает, что для решения задач структурного синтеза сложных производственных систем использовался оптимизационно-имитационный подход, описанный в работе [4]. С 1987 г. в НТУ «ХПИ» рядом исследователей были предложены модели и методы решения задач планирования с алгоритмическими и аналитическими целевыми функциями и ограничениями в различных сочетаниях. Рассматривались как однокритериальные задачи [5], так и задачи в многокритериальной постановке [6, 7, 8]. Однако, не рассматривались задачи в более чем двухкритериальной постановке. Также в данных задачах не рассматривались имитационные модели уровня отрасли или государства.

В данной статье предлагается рассмотреть модель оптимизации планов развития отдельной отрасли промышленности Украины в трехкритериальной постановке. В качестве критериев в модели приняты прибыль от реализации произведенной продукции, затраты на функционирование и развитие отрасли, а также объем выпуска инновационной продукции отраслью

промышленности. Последний критерий обусловлен ориентацией модели развития промышленности Украины на инновационный вариант [9].

**Задача планирования развития отрасли промышленности Украины.** В рамках существующей структуры промышленности Украины, представленной на рисунке ниже, рассматривается структура одной отрасли.



Структура промышленности

Схема этой отрасли представляет собой объединение  $H$  видов экономической деятельности (ВЭД) страны, входящих в данную отрасль. Структура  $h$ -го ВЭДа ( $h = \overline{1, H}$ ) в свою очередь представляет собой объединение двух блоков: первый блок описывает производство рядовой продукции, второй – инновационной продукции. В качестве инновационной рассматривается продукция, которая будет отвечать требованиям мирового рынка в ближайшие 3–5 лет. Рядовую представляет продукция на которую в рассматриваемый период времени есть достаточно большой спрос в пределах страны, но которая в ближайшие 3–5 лет уступит место на рынке инновационной продукции.

Совокупность выпуска рядовой и инновационной продукции составляет объем промышленного производства  $h$ -го ВЭДа отрасли. Сложение совокупных объемов производства всех ВЭДов отрасли дает объем производства всей отрасли в целом. Рассмотрим некоторый плановый период функционирования данной отрасли, длительность которого составляет  $T$  лет. Так, в  $t$ -м году планового периода производственная мощность  $h$ -го ВЭДа

отрасли по выпуску рядовой продукции может составить  $A_{1t}^{(h)}$  денежных единиц, а инновационной продукции –  $A_{2t}^{(h)}$  денежных единиц. Предположим, что на основе прогнозов или плановых показателей определен спрос на рядовую  $D_{1t}^{(h)}$  и инновационную  $D_{2t}^{(h)}$  продукцию  $h$ -го ВЭДа ( $t = \overline{1, T}$ ,  $h = \overline{1, H}$ ). Тогда суммарный доход рассматриваемой отрасли (который тождественно равен суммарному объему промышленного производства  $H$  ВЭДов отрасли) в плановом периоде составит

$$INCOME = \sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^H \alpha_t (V_{1t}^{(h)} + V_{2t}^{(h)})$$

где  $\alpha_t = (1 + E_n)^{t_p - t}$ ,  $E_n$  – норматив приведения разных по времени затрат и результатов,  $t_p$  – расчетный год;

$V_{1t}^{(h)}$ ,  $V_{2t}^{(h)}$  – оценки реального объема выпуска рядовой и инновационной продукции  $h$ -м ВЭДом отрасли в  $t$ -м году, основанные на спросе. Данные величины задаются алгоритмически в следующем виде

$$V_{1t}^{(h)} = \begin{cases} A_{1t}^{(h)}, & \text{если } A_{1t}^{(h)} \leq D_{1t}^{(h)}, \\ D_{1t}^{(h)}, & \text{если } A_{1t}^{(h)} > D_{1t}^{(h)} \end{cases}, \quad V_{2t}^{(h)} = \begin{cases} A_{2t}^{(h)}, & \text{если } A_{2t}^{(h)} \leq D_{2t}^{(h)}, \\ D_{2t}^{(h)}, & \text{если } A_{2t}^{(h)} > D_{2t}^{(h)} \end{cases}$$

В начальный момент времени  $t=0$  планового периода номинальная производственная мощность  $h$ -го ВЭДа отрасли по выпуску обоих видов продукции (рядовой и инновационной) составляет  $A_0^{(h)} = A_{10}^{(h)} + A_{20}^{(h)}$ , а суммарная производственная мощность отрасли промышленности составляет

$$A_0 = \sum_{h=1}^H A_0^{(h)} = \sum_{h=1}^H (A_{10}^{(h)} + A_{20}^{(h)})$$

Уровень текущих затрат составляет при этом величину  $I_0$ . На протяжении планового периода основные фонды производства изнашиваются, что приводит к изменению текущих затрат. Текущие затраты в  $t$ -м году составят величину  $I_t$ .

Для развития отрасли промышленности могут быть использованы  $\Theta$  мероприятий, которые в сочетании от одного до  $\delta$  создают варианты развития, реализацию каждого из которых можно осуществлять в  $t$ -м году планового периода. Так как длительность планового периода часто выбирается с учетом рассмотрения всего жизненного цикла мероприятий, сроки начала реализации мероприятий и соответственно вариантов развития в общем виде ограничены величиной  $t_n \leq T$ , где  $t_n$  – время начала реализации последнего варианта развития. Это обусловлено тем, что некоторые варианты развития рассчитаны на

достаточно длительный срок и для оценивания эффекта от их внедрения необходимо, чтобы прошел некоторый период времени. Всего анализируются  $M$  вариантов развития, число которых определяется как сумма возможных сочетаний из  $\Theta$  мероприятий от по одному до по  $\delta$ , т. е.

$$M = \sum_{\eta=1}^{\delta} C_{\eta}^{\Theta} = \sum_{\eta=1}^{\delta} \frac{\Theta!}{(\Theta - \eta)! \eta!}$$

Единицей планового периода выбран один год.

В качестве мероприятий, направленных на развитие отрасли промышленности будем рассматривать государственные вложения и частные инвестиции в развитие: сферы образования, сферы научно-исследовательских работ (НИР), сферы опытно-конструкторских работ (ОКР), рядового и инновационного производства для  $h$ -го ВЭДа.

Для каждого мероприятия заданы следующие параметры:

$\omega_r^i$  – единовременные затраты в  $r$ -м году с начала проведения  $i$ -го мероприятия ( $i = \overline{1, \Theta}$ );

$I_r^i$  – изменение текущих затрат в  $r$ -м году с начала проведения  $i$ -го мероприятия ( $i = \overline{1, \Theta}$ );

$L_r^i$  – остаточная стоимость основных фондов, которые выбывают в связи с проведением  $i$ -го мероприятия в  $r$ -м году с начала его проведения ( $i = \overline{1, \Theta}$ );

$P_r^i$  – прирост объема производства, в результате осуществления  $i$ -го мероприятия в  $r$ -м году с начала его проведения ( $i = \overline{1, \Theta}$ ).

Тогда затраты на реализацию  $j$ -го варианта развития в  $r$ -м году с начала его реализации равны

$$\omega_{jr} = \sum_{i \in \Omega_j} \omega_r^i$$

где  $\Omega_j$  – множество номеров мероприятий, формирующих  $j$ -й вариант развития.

Изменение текущих затрат в этом же году составит величину

$$I_{jr} = \sum_{i \in \Omega_j} I_r^i$$

а остаточная стоимость основных фондов, которые выбывают в связи с реализацией  $j$ -го варианта в этом же году, будет равна

$$L_{jr} = \sum_{i \in \Omega_j} L_r^i$$

Для каждого  $j$ -го варианта развития ( $j = \overline{1, M}$ ) определено множество вариантов  $L_j$ , которые должны быть реализованы до внедрения этого варианта развития и множество вариантов  $M_j$ , после которых не может быть внедрен  $j$ -й вариант развития. Также определено максимальное количество лет  $g$ , в течение которых может осуществляться  $j$ -й вариант развития.

Оценки реального объема выпуска  $h$ -м ВЭДом отрасли рядовой  $V_{1t}^{(h)}$  и инновационной  $V_{2t}^{(h)}$  продукции в  $t$ -м году определяются при помощи имитационной модели научно-технологического развития видов экономической деятельности Украины [10,11]. Использование имитационной модели обусловлено алгоритмической зависимостью объема реального выпуска продукции отраслью промышленности от текущей структуры системы и значений параметров ее структурных элементов. Значение текущей оценки реального объема выпуска продукции является функцией предыдущего значения этой оценки и вариантов развития, принятых в  $(g-1)$  прошлых годах и в году  $t$

$$V_{1t}^{(h)} = \Phi_1(V_{1,t-1}^{(h)}, x_{jp}), \quad V_{2t}^{(h)} = \Phi_2(V_{2,t-1}^{(h)}, x_{jp}),$$

где  $j = \overline{1, M}$ ,  $p = \overline{t+1-g, t}$ .

**Модель задачи** имеет следующий вид:

1) целевая функция (критерий – максимизация прибыли отрасли)

$$L_1 = \sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^H \alpha_t (V_{1t}^{(h)} + V_{2t}^{(h)}) - \sum_{t=1}^{t_n} \sum_{j=1}^M \sum_{r=1}^l \omega_{jr} \alpha_{t+r-1} \beta'_{t+r-1} x_{jt} + \sum_{t=1}^{t_n} \sum_{j=1}^M \sum_{r=1}^l L_{jr} \alpha_{t+r-1} \beta''_{t+r-1} x_{jt} - \sum_{k=1}^T I_k \alpha_k \beta_k'' - \sum_{j=1}^g \left( \sum_{r=1}^T I_{jr} \sum_{k=r}^T \alpha_k \beta_k''' x_{j1} + \sum_{r=1}^g I_{jr} \sum_{k=r+1}^T \alpha_k \beta_k''' x_{j2} + \dots + \sum_{r=1}^{\min\{g, T-t_n+1\}} I_{jr} \sum_{k=t_n+r-1}^T \alpha_k \beta_k''' x_{j t_n} \right) - \omega_{\text{пред}} + L_{\text{пред}} - I_{\text{пред}} \rightarrow \max_{x_{jt}}, \quad (1)$$

целевая функция (критерий – минимизация общих затрат отрасли промышленности на производство рядовой и инновационной продукции)

$$L_2 = \sum_{t=1}^{t_n} \sum_{j=1}^M \sum_{r=1}^l \omega_{jr} \alpha_{t+r-1} \beta'_{t+r-1} x_{jt} - \sum_{t=1}^{t_n} \sum_{j=1}^M \sum_{r=1}^l L_{jr} \alpha_{t+r-1} \beta''_{t+r-1} x_{jt} + \sum_{k=1}^T I_k \alpha_k \beta_k''' +$$

$$+ \sum_{j=1}^M \left( \sum_{r=1}^g I_{jr} \sum_{k=r}^T \alpha_k \beta_k''' x_{j1} + \sum_{r=1}^g I_{jr} \sum_{k=r+1}^T \alpha_k \beta_k''' x_{j2} + \dots + \sum_{r=1}^{\min\{g, T-t_n+1\}} I_{jr} \sum_{k=t_n+r-1}^T \alpha_k \beta_k''' x_{j t_n} \right) + \omega_{\text{пред}} - L_{\text{пред}} + I_{\text{пред}} \rightarrow \min_{x_{jt}}, \quad (2)$$

целевая функция (критерий – максимизация объема выпуска инновационной продукции отраслью промышленности)

$$L_3 = \sum_{t=1}^T \sum_{h=1}^H \alpha_t V_{2t}^{(h)} \rightarrow \max_{x_{jt}}, \quad (3)$$

где  $\beta'_t$ ,  $\beta''_t$ ,  $\beta'''_t$  – коэффициенты, учитывающие изменения в  $t$ -м году в сравнении с 0-м годом единовременных затрат, остаточной стоимости основных фондов и текущих затрат соответственно в связи с изменением цен;

$l = 1 - t + \min(t + g - 1, T)$  – последний год, в течение которого может осуществляться  $j$ -й вариант развития;

$\omega_{\text{пред}}$  – единовременные затраты, которые должны быть понесены в плановом периоде в связи с вариантами развития, принятыми на предыстории до года  $t=1$

$$\omega_{\text{пред}} = \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^{g-1} \alpha_k \beta'_k \sum_{p=-g+1+k}^0 \omega_{j,-p+1+k} x_{jp},$$

$L_{\text{пред}}$  – остаточная стоимость основных фондов, которые выбывают в плановом периоде в связи с вариантами развития, принятыми на предыстории до года  $t=1$

$$L_{\text{пред}} = \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^{g-1} \alpha_k \beta''_k \sum_{p=-g+1+k}^0 L_{j,-p+1+k} x_{jp},$$

$I_{\text{пред}}$  – изменение текущих затрат в плановом периоде в связи с начатыми вариантами развития на предыстории

$$I_{\text{пред}} = \sum_{j=1}^M \left( \sum_{\mu=1}^{g-1} \sum_{k=\mu}^T \alpha_k \beta'''_k \sum_{p=-g+1+\mu}^0 I_{j,-p+1+\mu} x_{jp} \right)$$

2) условия выполнения государственного заказа на рядовую и инновационную продукцию  $h$ -го ВЭДа во всех годах планового периода

$$\begin{cases} A_{1t}^{(h)} \geq Z_{1t}^{(h)} \\ A_{2t}^{(h)} \geq Z_{2t}^{(h)} \end{cases} \quad t = \overline{1, T}, \quad h = \overline{1, H} \quad (4)$$

где  $Z_{1t}^{(h)}$ ,  $Z_{2t}^{(h)}$  – государственный заказ на рядовую и соответственно инновационную продукцию  $h$ -го ВЭДа в  $t$ -м году планового периода.

3) ограничения на последовательность реализации вариантов развития

$$x_{jt} \text{card} L_j - \sum_{l \in L_j} \sum_{m=1}^{t-1} x_{lm} \leq 0, \quad j = \overline{1, M}, \quad \forall t \in \{2, 3, \dots, t_n\} \quad (5)$$

$$x_{jt} \sum_{l \in M} \sum_{m=1}^{t-1} x_{lm} = 0, \quad j = \overline{1, M}, \quad \forall t \in \{2, 3, \dots, t_n\} \quad (6)$$

4) ограничение на число реализованных вариантов в каждом году  $t$  планового периода

$$\sum_{j=1}^M x_{jt} \leq 1, \quad t = \overline{1, t_n} \quad (7)$$

Таким образом, задача оптимизации планов развития отрасли промышленности Украины описывается динамической немарковской моделью (1)–(7) с алгоритмическими (1), (3) и аналитической (2) целевыми функциями, с алгоритмическими (4) и аналитическим (7) ограничениями, с булевыми переменными

$$x_{jt} \in \{0, 1\}, \quad j = \overline{1, M}, \quad t = \overline{1, t_n} \quad (8)$$

где  $x_{jt} = 1$  означает, что в  $t$ -м году начата реализация  $j$ -го варианта развития;

$x_{jt} = 0$  означает противоположное действие.

Немарковость проявляется в том, что решение про реализацию какого-либо варианта развития в году  $t$ , будет оказывать влияние на состояние системы в годах  $t, t+1, t+2, \dots, t+g-1$ .

**Выводы и направление дальнейших исследований.** В данной статье предложена модель оптимизации планов развития отрасли промышленности Украины в трехкритериальной постановке, с алгоритмическими и аналитическими целевыми функциями и ограничениями, с использованием имитационной модели научно-технологического развития видов экономической деятельности страны.

Для решения поставленной задачи предполагается использовать принцип минимакса для поиска компромиссного решения

многокритериальной задачи оптимизации. Динамическая оптимизация в свою очередь будет производиться на основе метода неявного перебора.

**Список литературы:** 1. Державний комітет статистики України [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ukrstat.gov.ua/> від 05.05.2010 р. 2. Межгосударственный статистический комитет СНГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cisstat.com/> от 05.05.2010 р. 3. Міністерство економіки України [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.me.gov.ua/> від 05.05.2010 р. 4. Цвиркун А.Д., Акинфиев В.К., Филиппов В.А. Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем (оптимизационно-имитационный подход). – М.: Наука, 1985. – 173 с. 5. Кононенко И.В. Оптимизация развития производственных систем, представленных имитационными моделями. – Киев, 1990. – 31 с. – (Препр. АН УССР. Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова; 90–36). 6. Кононенко И.В., Ефременко И.М. Методичні матеріали з формування програм розвитку галузей місцевого господарства. – Харків: Інститут машин і систем, 2001. – 191 с. 7. Кононенко И.В. Компьютеризация управления развитием производственно-экономических систем. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 240 с. 8. Кононенко И.В., Шатохина Н.В. Метод решения многокритериальной задачи формирования плана развития предприятия с учетом рисков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: НАКУ «ХАИ». – 2003. – Вып. 20. – с. 185–193. 9. Украина. Кабинет Министров. Распоряжение «Про схвалення Концепції проекту Загальнодержавної цільової економічної програми розвитку промисловості на період до 2017 року» №947-р от 09.07.2008 [Электронный ресурс] / Законодавство України, електронна база. – Режим доступа: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=947-2008-%FO> 10. Кононенко И.В., Ефременко Т.Н., Репин А.Н. Имитационная модель инновационного и научно-технологического развития страны // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2005. – №19. с. 31–36. 11. Кононенко И.В., Репин А.Н., Лакина Д.В. Моделирование научно-технологического развития видов экономической деятельности Украины // VII Международная научно-практическая конференция «Современные информационные технологии в экономике и управлении предприятиями, программами, проектами» – Харьков: Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2009. – с. 115–116

Надійшла до редакції 05.06.2010