

**БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:**

1. Електроенергетика України, її значення та сучасна структура виробництва і споживання електроенергії [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://uchebnik-online.com/128/94.html>.
2. Білоцерківський О.Б. Моделювання часового ряду з виробництва електроенергії в Україні / О.Б. Білоцерківський // Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія «Міжнародні економічні відносини та світове господарство». – Ужгород : Гельветика, 2016. – Вип. 7. – Ч. 1. – С. 22–25.
3. Ущатовський К.В. Тенденції розвитку електроенергетики: загрози та можливості / К.В. Ущатовський, Ю.Д. Костін // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. – № 1(107). – С. 21–32.
4. Варламов Г.Б. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії : [підручник] / Г.Б. Варламов, Г.М. Любчик, В.А. Маляренко. – К. : Політехніка, 2003. – 232 с.
5. Чепурний М.М. Показники ефективності роботи енергетичних установок для сумісного виробництва теплової та електричної енергії / М.М. Чепурний, С.Й. Ткаченко, Н.В. Пішеніна // Наукові праці ВНТУ. – 2010. – № 1. – С. 1–5.
6. Виробництво основних видів промислової продукції [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ukrstat.gov.ua>.
7. Оптимізація систем теплопостачання із використанням економіко-математичного моделювання : [монографія] / О.М. Гавриш, О.О. Замула, В.О. Шведун [та ін.] ; М-во освіти і науки України, НТУ «ХП». – Х. : Щедра садиба плюс, 2015. – 208 с.
8. Білоцерківський О.Б. Статистичний аналіз виробництва електроенергії в Україні / О.Б. Білоцерківський // Молодий вчений. – Херсон : Гельветика, 2016. – № 5(32). – Ч. 1. – С. 19–23.
9. Кремер Н.Ш. Эконометрика : [учебник для вузов] / Н.Ш. Кремер, Б.А. Путко. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2005. – 311 с.
10. Білоцерківський О.Б. Методичні вказівки до практичних занять з курсу «Технічне регулювання» для студентів спеціальності 6.030510 «Товарознавство та комерційна діяльність» / О.Б. Білоцерківський. – Х. : НТУ «ХП», 2015. – 88 с.

УДК 658.07

**Куруджи Ю.В.**  
*ассистент кафедры менеджмента  
 и маркетинга на морском транспорте  
 Одесского национального морского университета*

### РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ РЫНОЧНОГО РИСКА ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РАБОТЫ ЦЕПИ ПОСТАВОК С УЧЕТОМ ФАКТОРОВ ВНУТРЕННЕЙ И ВНЕШНЕЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

В статье предложен методический подход к оценке рыночного риска при планировании работы цепи поставок. Спрос в пунктах потребления продукции и производственные коэффициенты предполагаются случайными величинами с заданными законами распределения. Суть разработанного метода состоит в оценке ожидаемой прибыли от реализации продукции с учетом страхования рисков и без страхования.

**Ключевые слова:** цепь поставок, стохастическая оптимизация, случайный спрос, случайная производительность линий, рыночный риск, страхование риска.

#### Kurudzhi Yu.V. РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНКИ РИНКОВОГО РИЗИКУ ПРИ ПЛАНУВАННІ РОБОТИ ЛАНЦЮГА ПОСТАВОК З УРАХУВАННЯМ ФАКТОРІВ ВНУТРІШНЬОЇ ТА ЗОВНІШНЬОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

У статті запропоновано методичний підхід до оцінки ринкового ризику при плануванні роботи ланцюга поставок. Попит в пунктах споживання продукції та виробничі коефіцієнти передбачаються випадковими величинами із заданими законами розподілу. Суть розробленого методу полягає в оцінці очікуваного прибутку від реалізації продукції з урахуванням страхування ризиків і без страхування.

**Ключові слова:** ланцюг поставок, стохастична оптимізація, випадковий попит, випадкова продуктивність ліній, ринковий ризик, страхування ризику.

#### Kurudzhi Yu.V. DEVELOPMENT OF MARKET'S RISK ASSESSMENT METHOD FOR SUPPLY CHAIN ACTIVITY PLANNING TAKING INTO ACCOUNT THE FACTORS OF INTERNAL AND EXTERNAL UNCERTAINTY

In the article a methodological approach to the assessment of market risk for supply chain activity planning is suggested. The random fluctuation of demand at destinations and random variations of production equipment's rates at a plant was taken into account. The method is to assess the expected profits from sales of products based on risk insurance and without insurance.

**Keywords:** supply chain, stochastic optimization, random demand, random variations of production rates, market risk, insurance risk.

**Постановка проблеми.** Организация и планирование работы цепей поставок связаны с необходимостью учета различных видов риска. К основным из них относятся риски нарушения сроков и объемов поставок, риски перепроизводства готовой продукции и упущенной выгоды из-за ее недостаточного выпуска, трудности с получением сырья, внезапные отказы производственного оборудования, колебания производительности рабочих и др. Поэтому при моделировании логистических систем и оптимизации совместных планов работы различных звеньев цепей поставок важно учитывать влияние как внутренних, так и внешних факторов неопределенности.

При решении задач управления рисками целесообразно использовать достижения современной теории риска, которая основана на классической теории вероятностей. Однако существующие подходы к управлению рисками недостаточно учитывают специфику цепей поставок, основанных на управлении материальными и финансовыми потоками на всем протяжении цепи. Этим обусловлена более широкая постановка проблемы, связанной с координацией всех видов потоков и управлением финансовыми рисками в деятельности цепей поставок, а также необходимость разработки соответствующих методов моделирования и исследования.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Для управления рисками в настоящее время разработаны различные приемы и методы [1–4]. Из последних работ, посвященных непосредственно моделированию цепей поставок с учетом финансовых процессов риска и порождающих их процессов производства, перевозки и хранения продукции, можно отметить работы Дж. Брамеля, Д. Симчи-Леви [5], П. Брандимарте, Г. Зоретти [6], И. Морозовой, М. Постана, С. Дашковского [7], Д. Малиновского [8] и других.

В работе М. Постана [10] приведен метод оценки рисков при оптимизации планирования выпуска продукции предприятием в условиях случайного спроса. В нашей работе «Разработка метода оценки рыночного риска при планировании работы цепи поставок при случайном спросе» [11] этот подход был распространен для задачи управления риском в цепях поставок типа А с учетом совместной оптимизации планирования производства и доставки готовой продукции в пункты потребления при случайном спросе (фактор внешней неопределенности) с заданным законом распределения. В нашей статье «Разработка модели оптимизации плана выпуска и доставки продукции с учетом факторов неопределенности» [12] исследована модель оптимизации производственно-транспортного типа, учитывающая также случайные колебания производительностей технологических линий (фактор внутренней неопределенности).

**Цель статьи.** Целью данной работы является распространение подхода, реализованного в вышеупомянутых работах [10; 11], для решения задачи управления рисками на примере цепи поставок типа А (несколько производителей, изготавливающих комплектующие, и одно предприятие, потребляющее их продукцию) с учетом одновременного влияния факторов внешней и внутренней неопределенности.

Основная задача исследования заключается в разработке метода, позволяющего количественно оценить экономическую целесообразность страхования риска недостатка ресурсов для производства продукции вследствие колебаний производительностей технологических линий и рисков, возникающих из-за случайного колебания спроса на продукцию.

**Изложение основного материала исследования.** Метод оценки рисков предприятия. Приведем статическую модель оптимизации плана выпуска комплектующих, готовой продукции и доставки произве-

денной продукции со склада предприятия в пункты назначения через некоторые пункты перевалки (цепь поставок типа А), рассмотренную в нашей работе «Об одной модели оптимизации плана выпуска и доставки продукции в цепи поставок» [13]:

$$S = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M p_{km} y_k - \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^{L_s} c_{sl}^{(1)} x_{sl} - \sum_{k=1}^K c_k^{(2)} y_k - \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{kn}^{(3)} z_{kn} - \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M c_{knm}^{(4)} z_{knm} \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$\sum_{l=1}^{L_s} a_{slr}^{(1)} x_{sl} \leq b_{sr}, r = 1, \dots, R_s, s = 1, \dots, S, \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K a_{slk}^{(2)} y_k \leq x_{sl}, l = 1, \dots, L_s, s = 1, \dots, S, \quad (3)$$

$$\sum_{n=1}^N z_{kn} = y_k, k = 1, \dots, K, \quad (4)$$

$$\sum_{n=1}^N z_{kn} \leq w_n, n = 1, \dots, N, \quad (5)$$

$$\sum_{m=1}^M z_{knm} = z_{kn}, k = 1, \dots, K, n = 1, \dots, N, \quad (6)$$

$$\sum_{n=1}^N z_{knm} = d_{km}, k = 1, \dots, K, m = 1, \dots, M, \quad (7)$$

$$x_{sl}, y_k, z_{kn}, z_{knm} \geq 0 \forall s, l, k, n, m. \quad (8)$$

Здесь через  $x_{sl}$  обозначено количество комплектующих  $l$ -го вида, которые запланировано к выпуску предприятие-поставщик под номером  $s$ , при этом на производство единицы комплектующей  $l$ -го вида необходимо затратить  $a_{slr}^{(1)}$  сырья вида  $r$ , а ресурс  $r$ -го вида на  $s$ -м предприятии-поставщике имеется в количестве  $b_{sr}$ ,  $s = 1, \dots, S$ ;  $l = 1, \dots, L_s$ ;  $r = 1, \dots, R_s$ ;  $y_k$  – количество готовой продукции вида  $k$ , запланированное для выпуска предприятием-изготовителем, причем на производство одной единицы продукции  $k$ -го вида необходимо затратить  $a_{slk}^{(2)}$  комплектующих  $l$ -го вида, произведенных на  $s$ -м предприятии-поставщике,  $K = 1, \dots, K$ ; через  $z_{kn}$  обозначено количество готовой продукции  $k$ -го вида, планируемое для перевалки в пункте  $P_n$  с пропускной способностью  $w_n$ ,  $n = 1, \dots, N$ ;  $z_{knm}$  – количество готовой продукции  $k$ -го вида, которое планируется доставить из перевалочного пункта  $P_n$  в пункт назначения  $D_m$ ,  $d_{km}$  – потребность в продукции  $k$ -го вида в пункте назначения  $D_m$ ,  $m = 1, \dots, M$ . Предприятие предполагает реализовать продукцию по цене  $p_{km}$ , затрати-

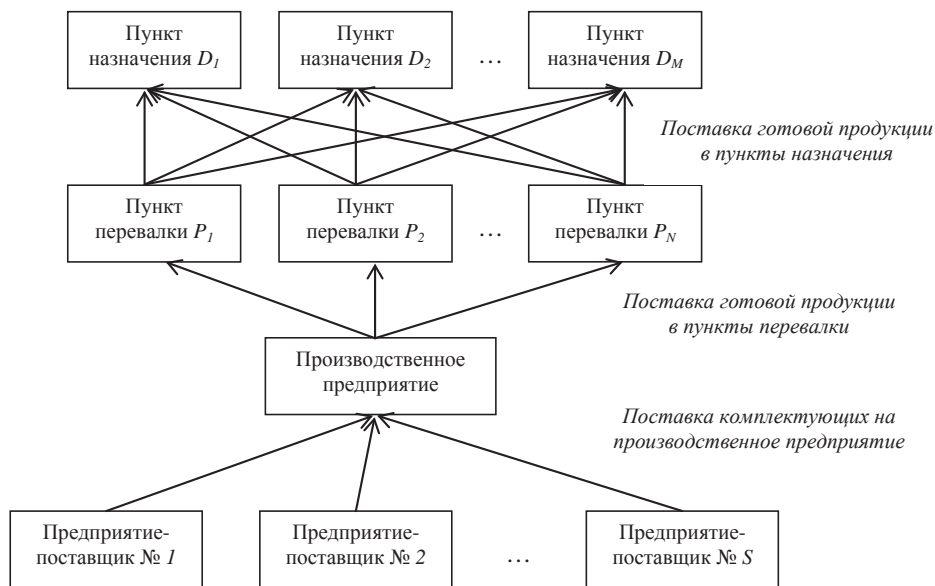


Рис. 1. Схема цепи поставок

вая при этом на производство одной единицы продукции  $k$ -го вида  $c_k^{(2)}$  денежных единиц. Затраты на производство единицы комплектующей  $l$ -го вида и ее доставку от поставщика под номером  $s$  составляют  $c_{sl}^{(1)}$ ;  $c_{kn}^{(3)}$  – стоимость перевозки единицы готовой продукции  $k$ -го вида, включая ее перевалку, в пункт  $P_n$ ;  $c_{kmn}^{(4)}$  – стоимость перевозки единицы готовой продукции  $k$ -го вида из пункта  $P_n$  в пункт назначения  $D_m$ .

Схема рассматриваемой цепи поставок типа А представлена на рисунке 1.

В работе «Разработка метода оценки рыночного риска при планировании работы цепи поставок при случайном спросе» [11] величины спроса  $d_{km}(\omega)$  предполагаются непрерывными взаимно независимыми случайными величинами с заданными плотностями распределения  $\varphi_{km}(d)$ , что влечет за собой риски возникновения потерь, связанных с дополнительным хранением на складе предприятия-производителя нереализованной продукции, а также риски недополучения прибыли вследствие неудовлетворения спроса на товар. Введем в рассмотрение величину

$$v_{km} = \sum_{n=1}^N z_{kmn}, k=1, \dots, K, m=1, \dots, M, \quad (9)$$

которая означает суммарное количество готовой продукции  $k$ -го вида, планируемое для доставки в пункт назначения  $D_m$  в соответствии с планом, составленным до реализации случайного спроса.

В статье «Разработка модели оптимизации плана выпуска и доставки продукции с учетом факторов неопределенности» [12] показано, как при решении задачи оптимизации может быть учтено влияние факторов внешней неопределенности. Производственные коэффициенты  $a_{slr}^{(1)}$  и  $a_{slk}^{(2)}$  будем считать случайными величинами с известными законами распределения  $\psi_{slr}^{(1)}(a)$  и  $\psi_{slk}^{(2)}(a)$  соответственно. Тогда плотности случайных величин  $v_{sr}^{(1)} = \sum_{l=1}^L a_{slr}^{(1)} x_{sl}$  и  $v_{sl}^{(2)} = \sum_{k=1}^K a_{slk}^{(2)} y_k$  при условии, что  $a_{slr}^{(1)}$  и  $a_{slk}^{(2)}$  – независимые в совокупности случайные величины, могут быть найдены с использованием правила нахождения плотности распределения суммы независимых случайных величин:

$$\psi_{sr}^{(1)}(v) = \psi_{sl_1 r} \left( \frac{v}{x_{sl_1}} \right) * \psi_{sl_2 r} \left( \frac{v}{x_{sl_2}} \right) * \dots * \psi_{sl_r r} \left( \frac{v}{x_{sl_r}} \right), \quad (10)$$

$$\psi_{sl}^{(2)}(v) = \psi_{sl_1} \left( \frac{v}{y_1} \right) * \psi_{sl_2} \left( \frac{v}{y_2} \right) * \dots * \psi_{sl_k} \left( \frac{v}{y_k} \right), \quad (11)$$

где символ \* означает свертку плотностей.

Ограничения (2)–(3) в таком случае примут вероятностный характер и будут иметь вид:

$$\int_0^{b_r} \psi_{slr}^{(1)}(v) dv \geq 1 - \varepsilon, r=1, \dots, R_s, s=1, \dots, S, \quad (12)$$

$$\int_0^{x_l} \psi_{slk}^{(2)}(v) dv \geq 1 - \varepsilon, l=1, \dots, L_s, s=1, \dots, S, \quad (13)$$

где  $\varepsilon$  заданная малая вероятность.

Используем эти результаты и составим выражения для возможной прибыли предприятия-производителя: для случая, когда принимается решение о страховании возможных рисков, и для случая отказа от страхования.

Предположим, что между предприятием-производителем готовой продукции и страховой компанией составлен договор о страховании, по которому страховщик обязуется полностью компенсировать риски, возникающие в результате колебаний спроса на продукцию и производственных коэффициентов.

Введем в рассмотрение величины  $c_{km}^+$  и  $c_{km}^-$ , обозначающие соответственно выплаты предприятия страховой компании за единицу недостающей продукции и за единицу нереализованной, причем  $p_{km} > c_{km}^+$ ,

$s_k > c_k^-$ , где  $s_k$  – стоимость хранения на складе единицы нереализованной продукции. Пусть также  $c_{sr}^b$  и  $c_{sl}^x$  представляют собой выплаты за единицу дефицитного сырья и недостающей комплектующей соответственно,  $\pi_{sr} > c_{sr}^b$ ,  $c_{sl}^{(1)} > c_{sl}^x$ , где  $\pi_{sr}$  – плата за приобретение дополнительной единицы сырья  $r$ -го вида для  $s$ -го предприятия-поставщика.

Тогда в случае страхования рисков, возникающих из-за дефицита сырья и случайного колебания спроса на продукцию, выражения

$$\sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S c_{sr}^b \max(0, v_{sr}^{(1)} - b_{sr}), \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L c_{sl}^x \max(0, v_{sl}^{(2)} - x_{sl}),$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M p_{km} \max(0, d_{km}(\omega) - v_{km}), \sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^S s_k \max(0, v_{km} - d_{km}(\omega))$$

будут представлять собой размеры страхового возмещения, которое может получить предприятие, а выплаты предприятия страховой компании составят:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M [c_{km}^+ \max(0, d_{km}(\omega) - v_{km}) + c_{km}^- \max(0, v_{km} - d_{km}(\omega))] +$$

$$+ \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R \pi_{sr} \max(0, v_{sr}^{(1)} - b_{sr}) + \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L c_{sl}^{(1)} \max(0, v_{sl}^{(2)} - x_{sl})$$

В том случае, когда предприятие принимает решение не страховать риски, последнее выражение будет являться размером экономии на страховании.

Если предприятие-производитель не страхует риски, то его возможная суммарная прибыль при планах выпуска и перевозки  $\{x_{sl}\}$ ,  $\{y_k\}$ ,  $\{z_{kn}\}$  и  $\{z_{kmn}\}$ , удовлетворяющих условиям (4)–(6), (8)–(9), (12)–(13), составит:

$$\Pi_{ncmp} = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M [p_{km} \min(v_{km}, d_{km}(\omega)) - (p_{km} - c_{km}^+) \max(0, d_{km}(\omega) - v_{km}) -$$

$$- (s_k - c_k^-) \max(0, v_{km} - d_{km}(\omega))] - \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R (\pi_{sr} - c_{sr}^b) \max(0, v_{sr}^{(1)} - b_{sr}) -$$

$$- \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L (c_{sl}^{(1)} - c_{sl}^x) \max(0, v_{sl}^{(2)} - x_{sl}) - R, \quad (14)$$

$$\text{где } R = \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L c_{sl}^{(1)} x_{sl} + \sum_{k=1}^K c_k^{(2)} y_k + \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{kn}^{(3)} z_{kn} + \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^M \sum_{m=1}^M c_{kmn}^{(4)} z_{kmn}.$$

В том случае, когда предприятие принимает решение о страховании, выражение для возможной прибыли предприятия будет иметь вид:

$$\Pi_{cmp} = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M [p_{km} \min(v_{km}, d_{km}(\omega)) + (p_{km} - c_{km}^+) \max(0, d_{km}(\omega) - v_{km}) +$$

$$+ (s_k - c_k^-) \max(0, v_{km} - d_{km}(\omega))] + \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R (\pi_{sr} - c_{sr}^b) \max(0, v_{sr}^{(1)} - b_{sr}) +$$

$$+ \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L (c_{sl}^{(1)} - c_{sl}^x) \max(0, v_{sl}^{(2)} - x_{sl}) - R. \quad (15)$$

Выражения (14) и (15) являются случайными величинами, которые могут принимать как положительные, так и отрицательные значения. Для решения вопроса о страховании можно определить математическое ожидание прибыли предприятия для двух вариантов его действия ( $M\Pi_{cmp}$  и  $M\Pi_{ncmp}$ ):

$$M\Pi_{ncmp} = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left[ p_{km} \int_0^{\infty} \min(v_{km}, u) \varphi_{km}(u) du -$$

$$- (p_{km} - c_{km}^+) \int_{v_{km}}^{\infty} (u - v_{km}) \varphi_{km}(u) du - (s_k - c_k^-) \int_0^{v_{km}} (v_{km} - u) \varphi_{km}(u) du \right] -$$

$$- \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R (\pi_{sr} - c_{sr}^b) \int_{b_{sr}}^{\infty} (u - b_{sr}) \varphi_{sr}^{(1)}(u) du - \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L (c_{sl}^{(1)} - c_{sl}^x) \int_{x_{sl}}^{\infty} (u - x_{sl}) \varphi_{sl}^{(2)}(u) du - R, \quad (16)$$

$$M\Pi_{cmp} = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \left[ p_{km} \int_0^{\infty} \min(v_{km}, u) \varphi_{km}(u) du +$$

$$+ (p_{km} - c_{km}^+) \int_{v_{km}}^{\infty} (u - v_{km}) \varphi_{km}(u) du + (s_k - c_k^-) \int_0^{v_{km}} (v_{km} - u) \varphi_{km}(u) du \right] +$$

$$+ \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R (\pi_{sr} - c_{sr}^b) \int_{b_{sr}}^{\infty} (u - b_{sr}) \varphi_{sr}^{(1)}(u) du + \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L (c_{sl}^{(1)} - c_{sl}^x) \int_{x_{sl}}^{\infty} (u - x_{sl}) \varphi_{sl}^{(2)}(u) du - R. \quad (17)$$

Теперь, решив две задачи максимизации с целевыми функциями (16) и (17), учитывая ограничения (4)–(6), (8)–(9), (12)–(13), решение о страхова-

ний рисков можно принимать в случае выполнения неравенства:  $МП_{cnp} > МП_{ncnp}$ .

Это решающее правило является простейшим. Для окончательного принятия решения о страховании для случайных величин  $Π_{ncnp}$  и  $Π_{cnp}$  необходимо определить дисперсию и коэффициент вариации, которые характеризуют меру изменчивости ожидаемого значения прибыли. Можно показать, что для некоторого фиксированного плана выпуска и перевозки продукции  $\{\bar{x}_{sl}, \bar{y}_k, \bar{z}_{kn}, \bar{z}_{km}\}$  дисперсии  $ДΠ_{ncnp}$  и  $ДΠ_{cnp}$  совпадают. Учитывая, что все случайные величины  $d_{km}(\omega)$ ,  $a_{slr}^{(1)}$  и  $a_{slk}^{(2)}$  независимы друг от друга, а также пользуясь свойствами дисперсии, получим:

$$\begin{aligned} ДΠ_{cnp} = ДΠ_{ncnp} = & \sum_{k=1}^M \sum_{m=1}^M [p_{km}^2 D \min(v_{km}, d_{km}(\omega)) + \\ & + (p_{km} - c_{km}^+)^2 D \max(0, d_{km}(\omega) - v_{km}) + (s_k - c_k^-)^2 D \max(0, v_{km} - d_{km}(\omega))] + \\ & + \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R (\pi_{sr} - c_{sr}^b)^2 D \max(0, v_{sr}^{(1)} - b_{sr}) + \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L (c_{sl}^{(1)} - c_{sl}^a)^2 D \max(0, v_{sl}^{(2)} - x_{sl}) = \\ = & \sum_{k=1}^M \sum_{m=1}^M \left\{ p_{km}^2 + (s_k - c_k^-)^2 \int_0^\infty (\min(v_{km}, u))^2 \varphi_{km}(u) du - \left( \int_0^\infty \min(v_{km}, u) \varphi_{km}(u) du \right)^2 \right\} + \\ & + (p_{km} - c_{km}^+)^2 \left[ \int_0^\infty (\max(v_{km}, u))^2 \varphi_{km}(u) du - \left( \int_0^\infty \max(v_{km}, u) \varphi_{km}(u) du \right)^2 \right] + \\ & + \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R (\pi_{sr} - c_{sr}^b)^2 \left[ \int_0^\infty (\max(u, b_{sr}))^2 \psi_{sr}^{(1)}(u) du - \left( \int_0^\infty \max(u, b_{sr}) \psi_{sr}^{(1)}(u) du \right)^2 \right] + \\ & + \sum_{s=1}^S \sum_{l=1}^L (c_{sl}^{(1)} - c_{sl}^a)^2 \left[ \int_0^\infty (\max(u, x_{sl}))^2 \psi_{sl}^{(2)}(u) du - \left( \int_0^\infty \max(u, x_{sl}) \psi_{sl}^{(2)}(u) du \right)^2 \right]. \end{aligned}$$

На основе сравнения коэффициентов вариации можно сформулировать следующее решающее правило, позволяющее установить целесообразность страхования рисков предприятия, связанных с возможным отклонением запланированного объема выпуска продукции от фактического спроса на эту продукцию, а также с нехваткой сырья для производства:

$$\frac{\sqrt{ДΠ_{cnp}(\bar{X}_{cnp})}}{\max МП_{cnp}} < \frac{\sqrt{ДΠ_{ncnp}(\bar{X}_{ncnp})}}{\max МП_{ncnp}} \quad (18)$$

где  $(\bar{X}_{cnp})$  и  $(\bar{X}_{ncnp})$  – планы выпуска и перевозки продукции, обеспечивающие максимальные значения  $МП_{ncnp}$  и  $МП_{cnp}$  соответственно. Отметим, что если выполняется условие (18), то решение о страховании нередко принимается даже при невыполнении условия  $МП_{cnp} > МП_{ncnp}$ .

**Применение разработанного метода для установления целесообразности страхования рисков.** Проведем вычисления и проиллюстрируем применение разработанного метода для установления целесообразности страхования рисков в случае, когда предприятие-изготовитель выпускает два вида товаров ( $K=2$ ) с использованием четырех видов комплектующих ( $S=2, L_1=2, L_2=2$ ). Продукция предприятия доставляется в два пункта назначения ( $M=2$ ) через два пункта перевалки ( $N=2$ ).

Рассмотрим случай, когда величины спроса  $d_{km}(\omega)$  имеют экспоненциальное распределение с параметрами  $\lambda_{km}$ , т. е. их плотности  $\varphi_{km}(d) = \lambda_{km} e^{-\lambda_{km} d}$ ,  $k = 1, 2, m = 1, 2$ .

Случайные величины  $a_{slr}^{(1)}$  и  $a_{slk}^{(2)}$  также распределены экспоненциально с параметрами  $\lambda_{slr}^{(1)}$  и  $\lambda_{slk}^{(2)}$ , т. е. их плотности распределения имеют вид:  $\psi_{slr}^{(1)}(a) = \lambda_{slr}^{(1)} e^{-\lambda_{slr}^{(1)} a}$ ,  $\psi_{slk}^{(2)}(a) = \lambda_{slk}^{(2)} e^{-\lambda_{slk}^{(2)} a}$ ,  $s = 1, 2, l = 1, 2, k = 1, 2, r = 1, 2$ . Тогда величины  $v_{sr}^{(1)}$  и  $v_{sl}^{(2)}$ , согласно с формулами свертки (10)–(11), будут иметь плотности распределения:

$$\psi_{sr}^{(1)}(v) = \frac{\lambda_{s1r}^{(1)} \lambda_{s2r}^{(1)} x_1 x_2}{x_1 \lambda_{s2r}^{(1)} - x_2 \lambda_{s1r}^{(1)}} \left( e^{-\lambda_{s1r}^{(1)} v / x_1} - e^{-\lambda_{s2r}^{(1)} v / x_2} \right), \quad s = 1, 2, r = 1, 2,$$

$$\psi_{sl}^{(2)}(v) = \frac{\lambda_{s1l}^{(2)} \lambda_{s2l}^{(2)} x_1 x_2}{x_1 \lambda_{s1l}^{(2)} - x_2 \lambda_{s2l}^{(2)}} \left( e^{-\lambda_{s1l}^{(2)} v / x_1} - e^{-\lambda_{s2l}^{(2)} v / x_2} \right), \quad s = 1, 2, l = 1, 2.$$

Необходимые для расчетов значения представлены в таблице 1.

Таблица 2 содержит значения математического ожидания, среднеквадратического отклонения и коэффициентов вариации для двух вариантов оптимизации: со страхованием рисков и при отказе от страхования.

Таблица 1

Исходные данные для расчета

Условные обозначения	Значения параметров	Условные обозначения	Значения параметров	Условные обозначения	Значения параметров
$b_{11}$	350	$c_{222}^{(4)}$	2,0	$s_1$	2,0
$b_{12}$	500	$c_1^-$	1,0	$s_2$	2,0
$b_{21}$	450	$c_2^-$	1,0	$\lambda_{11}$	0,008
$b_{22}$	480	$c_{11}^+$	40,0	$\lambda_{12}$	0,015
$w_1$	250	$c_{12}^+$	35,0	$\lambda_{21}$	0,013
$w_2$	300	$c_{21}^+$	35,0	$\lambda_{22}$	0,012
$c_{11}^{(1)}$	1,2	$c_{22}^+$	40,0	$\lambda_{111}^{(1)}$	5,5
$c_{12}^{(1)}$	1,1	$c_{11}^x$	0,8	$\lambda_{121}^{(1)}$	7,1
$c_{21}^{(1)}$	1,2	$c_{12}^x$	0,8	$\lambda_{112}^{(1)}$	3,6
$c_{22}^{(1)}$	1,3	$c_{21}^x$	0,8	$\lambda_{122}^{(1)}$	10,0
$c_1^{(2)}$	1,0	$c_{22}^v$	0,7	$\lambda_{211}^{(1)}$	5,5
$c_2^{(2)}$	1,5	$\pi_{11}$	1,0	$\lambda_{121}^{(1)}$	7,1
$c_{11}^{(3)}$	1,0	$\pi_{12}$	0,9	$\lambda_{212}^{(1)}$	3,6
$c_{12}^{(3)}$	2,0	$\pi_{21}$	0,9	$\lambda_{122}^{(1)}$	10,0
$c_{21}^{(3)}$	2,0	$\pi_{22}$	1,0	$\lambda_{111}^{(1)}$	10,0
$c_{22}^{(3)}$	1,0	$c_{11}^b$	0,8	$\lambda_{112}^{(1)}$	5,5
$c_{111}^{(4)}$	1,5	$c_{12}^b$	0,8	$\lambda_{121}^{(2)}$	7,1
$c_{112}^{(4)}$	2,0	$c_{21}^b$	0,8	$\lambda_{122}^{(2)}$	3,6
$c_{121}^{(4)}$	3,0	$c_{22}^b$	0,8	$\lambda_{211}^{(2)}$	8,3
$c_{122}^{(4)}$	2,0	$p_{11}$	50,0	$\lambda_{212}^{(2)}$	6,7
$c_{211}^{(4)}$	1,5	$p_{12}$	47,0	$\lambda_{221}^{(2)}$	10,0
$c_{212}^{(4)}$	2,0	$p_{21}$	55,0	$\lambda_{222}^{(2)}$	8,3
$c_{221}^{(4)}$	2,3	$p_{22}$	51,0		



Таблица 2  
Значения основных показателей прибыли

Наименование показателей	Значения показателей
Математическое ожидание прибыли в случае отказа от страхования рисков, $МП_{нстр}$	5 493,60
Математическое ожидание прибыли в случае страхования рисков, $МП_{стр}$	9 517,44
Среднеквадратическое отклонение в случае отказа от страхования рисков, $\sqrt{ДП_{нстр}(\bar{X}_{нстр})}$	3 561,05
Среднеквадратическое отклонение в случае страхования рисков, $\sqrt{ДП_{стр}(\bar{X}_{стр})}$	3 482,02
Коэффициент вариации в случае отказа от страхования рисков, $\frac{\sqrt{ДП_{нстр}(\bar{X}_{нстр})}}{\max МП_{нстр}}$	64,8 %
Коэффициент вариации в случае страхования рисков, $\frac{\sqrt{ДП_{стр}(\bar{X}_{стр})}}{\max МП_{стр}}$	36,6 %

Соответствующие значения оптимальных объемов производства и перевозок приведены в таблице 3.

Обсуждение численных расчетов и принятие решения о страховании.

Полученные результаты, приведенные в таблицах 2 и 3, показывают, что в данном тестовом примере решение будет принято в пользу страхования рисков, так как этому варианту действий предприятия соответствуют большее ожидаемое значение прибыли и меньшее значение коэффициента вариации.

Кроме того, выбирая вариант страхования, предприятие имеет возможность произвести и реализовать меньший объем продукции с большей прибылью. Например, объем выпуска продукции в случае отказа от страхования составит 325,86 ед. продукции, ожидаемое значение прибыли от ее реализации – 5 493,60 ден. ед., а для варианта страхования прибыль составит 9 517,44 ден. ед при соответствующем объеме производства 297,05 ед.

Отметим, что для описания спроса в моделях управления запасами наиболее разумным, по мнению многих исследователей, является гамма-распределение, частным случаем которого является распределение Эрланга: величины спроса  $d(w)$  имеют плотность

$$\varphi(d) = \frac{\lambda^n d^{n-1}}{(n-1)!} e^{-\lambda d}$$

(в случае  $n = 1$  распределение Эрланга совпадает с экспоненциальным распределением). Расчеты показывают, что с увеличением параметра  $n$  суммарная прибыль, связанная с производством, перевозкой и реализацией продукции, увеличивается, что говорит о необходимости составления точного прогноза ожидаемого спроса по всей цепочке поставок; следствием неточно спрогнозированного спроса являются высокие транспортные расходы, нереализованные возможности продаж, что влечет за собой потерю прибыли.

Рассматриваемая задача совместной оптимизации плана выпуска комплектующих, готовой продукции и доставки произведенной продукции со склада предприятия в пункты назначения через пункты перевалки с учетом случайного колебания спроса на продукцию и колебания производительностей технологических линий значительно трудней в вычислительном отношении, чем исходная модель (1)–(8) без учета влияния внешних и внутренних факторов, поскольку целевые функции (16)–(17) не обязательно вогнутые по параметрам управления и не сепарабельные. Левые части ограничений (12)–(13) также являются не сепарабельными и не вогнутыми функциями. В полученной задаче нелинейного программирования глобальный минимум может не совпадать с локальным. Для решения такого рода задач могут быть использованы известные численные методы оптимизации первого и второго порядков.

**Выводы.** В статье приведена статическая модель задачи управления риском на примере оптимизации плана работы цепи поставок типа А с учетом одновременного влияния факторов внешней и внутренней неопределенности. В качестве фактора внешней неопределенности рассмотрено случайное колебание спроса в пунктах доставки готовой продукции: величины спроса  $d_{km}(w)$  предполагаются взаимно независимыми случайными величинами с заданными плотностями распределения. В модели также учтено влияние внутренних факторов: производственные коэффициенты  $a_{sr}^{(1)}$  и  $a_{slk}^{(2)}$  являются случайными величинами с известными законами распределения.

В результате проведенных исследований:

1. Сформулированы решающие правила, которые позволяют установить целесообразность страхования рисков, связанных с недостатком ресурсов для производства продукции, и рисков, возникающих из-за отклонения запланированных к выпуску объемов продукции от фактического спроса. Суть разработанного метода состоит в оценке ожидаемой прибыли от реализации продукции с учетом страхования указанных рисков и без страхования.

2. Применение разработанного метода проиллюстрировано для случая, когда величины спроса и производственные коэффициенты распределены по

Таблица 3

Результаты расчета

Условные обозначения	Вариант отказа от страхования	Вариант страхования рисков	Значения параметров	Вариант отказа от страхования	Вариант страхования рисков
$x_{11}$	184,86	173,65	$z_{22}$	123,66	106,58
$x_{12}$	260,81	243,37	$z_{111}$	132,16	130,37
$x_{21}$	197,05	186,52	$z_{112}$	70,05	60,17
$x_{22}$	169,59	155,98	$z_{121}$	0	0
$y_1$	202,21	190,54	$z_{122}$	0	0
$y_2$	123,66	106,58	$z_{211}$	0	0
$z_{11}$	202,21	190,54	$z_{212}$	0	0
$z_{12}$	0	0	$z_{221}$	66,72	45,15
$z_{21}$	0	0	$z_{222}$	56,94	61,43

показательному закону, что соответствует самому неблагоприятному спросу. После решения двух задач стохастической оптимизации для каждого значения ожидаемой прибыли производится сравнение двух значений максимальной прибыли и принимается решение о страховании или нестраховании рыночного риска.

В дальнейшем результаты данной работы могут быть использованы для исследования других конфигураций цепей поставок, а также обобщены на случай построения динамических моделей оптимизации в цепях поставок, рассмотренных, например, в работах И. Морозовой [7] и М. Постака [14], с учетом одновременного влияния факторов внешней и внутренней неопределенности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Королев В.Ю. Математические основы теории риска / [В.Ю. Королев, В.Е. Бенинг, С.Я. Шоргин]. – М.: Физматгиз, 2007. – 544 с.
2. Останкова Л.А. Аналіз моделювання та управління економічними ризиками / Л.А. Останкова, Н.Ю. Шевченко. – К.: Центр учбової літератури, 2011. – 256 с.
3. Фалин Г.И. Математический анализ рисков в страховании / Г.И. Фалин. – М.: Российский юридический издательский дом, 1994. – 130 с.
4. Юдин, Д.Б. Задачи и методы стохастического программирования / Д.Б. Юдин. – М.: Сов. радио, 1979. – 392 с.
5. Bramel J. The logic of logistics: theory, algorithms, and applications for logistics management / J. Bramel, D. Simchi-Levi. – Berlin: Springer, 1997. – 355 p.
6. Brandimarte P. Introduction to distribution logistics. / P. Brandimarte, G. Zoterri. – NY: Wiley, 2007. – 581 p.
7. Morozova, I.V. Dynamic optimization model for planning of integrated logistical system functioning / [I.V. Morozova, M.Ya. Postan, S.N. Dashkovskiy] // In: Proc. of 3d Intl. Conf. «Dynamics in Logistics» LDIC'2012. – Berlin: Springer, 2013. – P. 291–300.
8. Постан М.Я. Модель оптимального планирования производства и доставки продукции предприятия по распределительным каналам / М.Я. Постан, Д.А. Малиновский // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем. – Одеса: ОНМУ, 2009. – Вип. 15. – С. 19–28.
9. Постан М.Я. Применение линейного программирования для оптимизации плана выпуска и доставки продукции в цепи поставок / М.Я. Постан, Ю.В. Куруджи // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – Т. 2, № 2(16). – С. 42–47.
10. Постан М.Я. Метод оценки рисков при оптимизации планирования выпуска продукции предприятием в условиях случайного спроса / М.Я. Постан // Научные труды ДОНТУ. Серия: экономическая. – Донецк: ДНТУ. – 2013. – № 4(46). – С. 321–325.
11. Куруджи Ю.В. Разработка метода оценки рыночного риска при планировании работы цепи поставок при случайном спросе / Ю.В. Куруджи // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – Т. 5, № 2(19). – С. 31–35.
12. Куруджи Ю.В. Разработка модели оптимизации плана выпуска и доставки продукции с учетом факторов неопределенности / Ю.В. Куруджи // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2015. – № 4(3). – С. 12–15.
13. Куруджи Ю.В. Об одной модели оптимизации плана выпуска и доставки продукции в цепи поставок: зб. наук. праць / Ю.В. Куруджи // Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: ОНМУ. – Одеса: ОНМУ. – 2014. – № 1(21). – С. 27–38.
14. Postan M.Ya. Dynamic Model for Optimization of Production and Finished Products Delivery Plans in Supply Chain / M.Ya. Postan, N.I. Chuhraj, Yu. V. Kurudzhi // Logistyka. – 2014. – #4. – P. 2345–2352.