

## СЕКЦІЯ 11 МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 681.83

**Білоцерківський О.Б.**  
кандидат технічних наук,  
доцент кафедри менеджменту  
зовнішньоекономічної діяльності та фінансів  
Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»

### ПРОГНОЗУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕКОНОМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

У статті досліджено сучасний стан та тенденції розвитку електроенергетики України. Розглянуто виробництво електроенергії в Україні за кварталами 2014–2015 рр., досліджено структуру виробництва. Розраховано аналітичні показники ряду динаміки. Побудовано парні регресійні, одночленні та двохчленні авторегресійні моделі. Перевірено адекватність побудованих моделей. Зроблено точковий прогноз виробництва електроенергії на 2016 р.

Ключові слова: електроенергія, структура, базисні та ланцюгові показники ряду динаміки, парні регресійні та авторегресійні моделі, точковий прогноз.

#### **Белоцерковский А.Б. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В УКРАИНЕ С ПОМОЩЬЮ ЭКОНОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**

В статье исследованы современное состояние и тенденции развития электроэнергетики Украины. Рассмотрено производство электроэнергии в Украине по кварталам 2014–2015 гг., исследована структура производства. Рассчитаны аналитические показатели ряда динамики. Построены парные регрессионные, одночленные и двухчленные авторегрессионные модели. Проверена адекватность построенных моделей. Сделан точечный прогноз производства электроэнергии на 2016 г.

**Ключевые слова:** электроэнергия, структура, базисные и цепные показатели ряда динамики, парные регрессионные и авторегрессионные модели, точечный прогноз.

#### **Bilotserkivskiy O.B. FORECASTING OF ELECTRO-ENERGY PRODUCTION IN UKRAINE USING ECONOMETRIC MODELS**

The current state and trends of electro-energy in Ukraine were investigated. Ukrainian electro-energy production for quarters of 2014-2015 was analyzed, the production structure was investigated. The analytical time series parameters were calculated. The pair regressive, one- and two-term autoregressive models were constructed. Adequacy of the built models was tested. A point forecast of electro-energy production for 2016 was made.

**Keywords:** electro-energy, structure, basis and chain time series parameters, pair regressive, one- and two-term autoregressive models, a point forecast.

**Постановка проблеми.** Електроенергетика – це галузь промисловості, яка забезпечує електрифікацію господарства та побутові потреби населення на основі виробництва та розподілу електроенергії. Електроенергетика посідає провідне місце в енергетиці країни. Вона є матеріальною основою науково-технічного прогресу, зростання продуктивності праці в усіх галузях суспільного виробництва. Електроенергетика – це основа розвитку економіки країни. Розвиток електроенергетики, будівництво потужних електростанцій сприяють створенню нових промислових вузлів [1]. В Україні електроенергія виробляється здебільшого за рахунок непоновлюваних джерел (спалювання вугілля, мазуту, природного газу), а також використання енергії води та атомної енергії [2, с. 22], тому дослідження в галузі потенційно можливого виробництва електроенергії є актуальними та мають важливе практичне значення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженню виробництва електроенергії в Україні присвячено роботи К.В. Ущиповського [3], Г.Б. Варламова [4], М.М. Чепурного [5] та ін. Так, у роботі К.В. Ущиповського [3] окреслено стан та перспективи розвитку електроенергетичної галузі України, визначено

загрози та можливості, а також ключові фактори успіху в галузі постачання електроенергії. Систематизацію матеріалу про технологічні особливості виробництва теплової та електричної енергії з використанням органічного палива і про комплексні методи та перспективні напрями підвищення енергетичної ефективності й екологічної безпеки теплоенергетичних об'єктів здійснено в роботі Г.Б. Варламова [4]. Дослідження М.М. Чепурного [5] присвячене аналізу впливу експлуатаційних факторів на ефективність роботи різного типу енергетичних установок, призначених для комбінованого виробництва електроенергії та тепла. Проте в наведених роботах відсутні або потребують оновлення економіметричні моделі, що описують виробництво електроенергії в Україні.

**Мета статті** полягає в аналізі структурних складників виробництва електроенергії в Україні, визначенні базисних і ланцюгових показників ряду динаміки, виділенні з ряду динаміки тренду, побудові рівняння тренду, перевірки його адекватності, прогнозуванні виробництва електроенергії в Україні за кварталами 2016 р.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Проведено аналіз структурних складників виробництва електроенергії в Україні за даними Держкомстату України

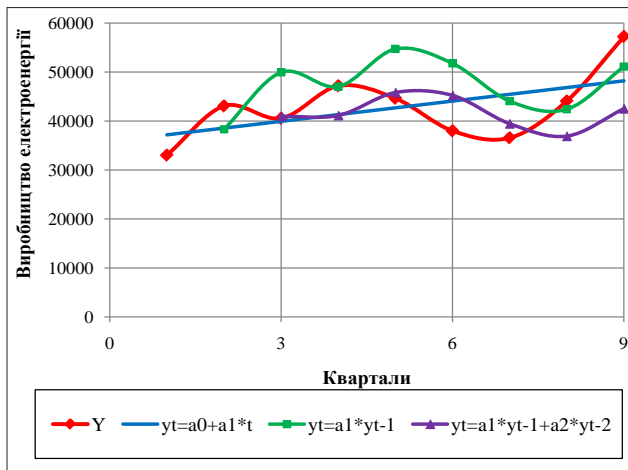


Рис. 1. Виробництво електроенергії в Україні за кварталами 2014–2016 рр.:  
Y – фактичні;  $y_t$  – вирівняні дані

про виробництво електроенергії за 2010–2015 рр. [6] Аналіз показав, що співвідношення між складниками виробництва електроенергії змінюються у часі та будуть змінюватися в майбутньому: питома вага складника «теплові електростанції та теплоелектроцентралі» впродовж шести останніх років зменшилася на 4,54% у загальному виробництві електроенергії, така ж тенденція в гідроелектростанцій (2,7%), водночас питома вага складника «атомні електростанції» за цей же період збільшилася на 6,3%. Також майже на 1% збільшилася частка альтернативних джерел енергії. Це можна пояснити російською анексією Криму з втратою перспективних родовищ нафти та природного газу на шельфі Чорного моря та тривалим збройним конфліктом на Донбасі з проросійськими сепаратистами, під контролем яких опинилися практично всі антрацитові вугільні шахти [7, с. 186]. Своєю чергою, це збільшило навантаження на атомні електростанції та стимулювало розвиток альтернативної енергетики.

Використовуючи метод збільшення інтервалів, було перетворено місячні дані Держкомстату України про виробництво електроенергії за 2014–2016 рр. [6] у квартальні (табл. 1, стовпці 1–3).

Чисельні дані, наведені в табл. 1, являють собою динамічний ряд. Наявність рядів динаміки потребує їх аналізу, що має за мету вивчення зміни явища за часом і встановлення його напрямку, характеру цієї зміни і вияв закономірності розвитку [8, с. 20].

Властивості рядів динаміки оцінюються за допомогою аналітичних показників. При цьому базою порівняння може бути змінний попередній рівень (розрахунок ланцюговим способом) або постійний віддалений за часом рівень (розрахунок базисним способом).

Абсолютний приріст (або зменшення)  $\Delta_i$  відповідає швидкості зміни рівнів ряду і розраховується як різниця рівнів ряду:

$$\text{а) базисний } \Delta_{i0} = y_i - y_0; \quad (1)$$

$$\text{б) ланцюговий } \Delta_i = y_i - y_{i-1}, \quad i=1..n, \quad (2)$$

де  $n$  – кількість рівнів ряду динаміки.

Темп зростання  $K_i$  характеризує інтенсивність змін рівнів ряду і виражається у відносних величин числом або у процентах:

$$\text{а) базисний } K_{i0} = \frac{y_i}{y_0}; \quad (3)$$

$$\text{б) ланцюговий } K_i = \frac{y_i}{y_{i-1}}. \quad (4)$$

Темп приросту  $T_i$  виражається в процентах і показує, на скільки рівень  $y_i$  більший (менший) від рівня, взятого за базу порівняння:

$$\text{а) базисний } T_{i0} = \frac{\Delta_{i0}}{y_0} \cdot 100\% = \frac{y_i - y_0}{y_0} \cdot 100\%; \quad (5)$$

$$\text{б) ланцюговий } T_i = \frac{\Delta_i}{y_{i-1}} \cdot 100\% = \frac{y_i - y_{i-1}}{y_{i-1}} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Абсолютне значення одного проценту приросту  $A_i$  характеризує вагомість кожного проценту приросту і розраховується як відношення абсолютного приросту до темпу приросту:

$$A_i = \frac{\Delta_i}{T_i} = \frac{y_{i-1}}{100} = 0,01y_{i-1}, \%. \quad (7)$$

Результати індексного аналізу наведено в табл. 1, стовпці 4–10. Із табл. 1 видно, що в I кварталі 2016 р. виробництво електроенергії порівняно з I кварталом 2014 р. збільшилося на 24 206,4 млн. кВт/год., або в 1,73 рази (73,29%). Найбільший темп зростання виробництва електроенергії порівняно з попереднім кварталом спостерігався у II кварталі 2014 р. (1,3%), найменший – у II кварталі 2015 р. (0,85%). Кожен відсоток абсолютного приросту у I кварталі 2015 р. становив 440,74 млн. кВт/год. Таким чином, розвиток електроенергетичної галузі України з виробництва електроенергії є позитивним, а її показники зростають із року в рік.

Проведено моделювання часового ряду, тобто виділено тренд. Загальне уявлення про характер зміни явища можна отримати із графічного зображення ряду динаміки (рис. 1).

Таблиця 1

Статистичні дані та результати індексного аналізу

Роки	Квартали	Вироблено електричної енергії, млн. кВт/год.	Абсолютний приріст, млн. кВт/год.		Темп зростання, %		Темп приросту, %		Абсолютне значення 1% приросту, млн. кВт/год.
		$y_i$	$\Delta_i$	$\Delta_{i0}$	$K_i$	$K_{i0}$	$T_i$	$T_{i0}$	$A_i$
2014	1	33025,7	...	0	...	1,00	...	0	...
	2	43067,4	10041,7	10041,7	1,31	1,31	30,41	30,41	330,26
	3	40555	-2512,4	7529,3	0,94	1,23	-5,83	22,79	430,67
	4	47182,6	6627,6	14156,9	1,16	1,43	16,34	42,87	405,55
2015	1	44636,2	-2546,4	11610,5	0,95	1,35	-5,39	35,16	471,83
	2	37994,4	-6641,8	4968,7	0,85	1,15	-14,88	15,05	446,365
	3	36562,8	-1431,6	3537,1	0,96	1,11	-3,77	10,71	379,95
	4	44072,8	7510	11047,1	1,21	1,34	20,54	33,45	365,63
2016	1	57232,1	13159,3	24206,4	1,29	1,73	29,86	73,29	440,73

З рис. 1 видно, що фактичні дані ряду динаміки розміщені близько до прямої лінії, тому спочатку для виділення тренду була побудована модель лінійної парної регресії  $\bar{y} = 42703,2 + 1377,8 \cdot t$ . Це означає, що кожен квартал виробництво електричної енергії в Україні збільшується на 1 377,8 млн. кВт/год.

Для оцінки тісноти зв'язку між ознаками було обчислено коефіцієнти детермінації  $R^2 = 0,29$  та кореляції  $R = 0,54$ , що свідчить про слабкий зв'язок між ознаками. Оцінено тісноту зв'язку за допомогою  $F$ -критерію Фішера, тобто обчислено теоретичне значення  $F$ -критерію Фішера та зроблено порівняння з табличним  $F_{таб, \alpha}$ . Оскільки  $F < F_{таб, \alpha}$  ( $2,84 < 5,59$  [9, с. 295]), то це означає недостатню значущість зв'язку між ознаками. Також було оцінено значущість коефіцієнта кореляції  $R$  за допомогою  $t$ -критерію Стьюдента. Оскільки  $t < t_{таб, \alpha}$  ( $1,68 < 2,36$  [9, с. 293]), то це свідчить про слабкий зв'язок між ознаками, тому були побудовані авторегресійні моделі за методикою Ю.І. Лернера. Дано деякий ряд динаміки величини  $y$ . Ставиться проблема прогнозування значення величини на майбутній період по ряду попередніх значень за допомогою деякого рівняння регресії, зокрема лінійного

$$\tilde{y}_i = a_1 y_{i-1} + a_2 y_{i-2} + \dots + a_k y_{i-k} \quad (8)$$

з коефіцієнтами, що визначаються за методом найменших квадратів.

Доведено, що залежність (8) у тому і тільки в тому разі відображає поведінку випадкової величини  $y$  в генеральній сукупності, якщо різниця між розрахованими значеннями  $\tilde{y}_i$  по (8) і фактичними даними  $y_i$

$$\varepsilon_i = \tilde{y}_i - y_i \quad (9)$$

є величиною незалежною від часу. Ця умова замінюється двома іншими:

а) значення  $\varepsilon_i$  нормально розподілені; б) некорельовані між собою.

З огляду на те, що ряд містить невелику кількість членів, то умова (а) не перевіряється. Для перевірки умови (б) використовується критерій Неймана. Розглядається відношення середнього квадрата послідовних різниць  $\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}$  до середнього квадрата  $\varepsilon_i$ :

$$K = \frac{\sum_{i=k+2}^n (\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})^2}{n' \cdot \frac{\sum_{i=k+2}^n \varepsilon_i^2}{n'}} \quad (10)$$

Для критерію  $K$  складена таблиця істотності при 5%-му і 1%-му рівнях значущості для різних значень  $n' = n - k$  ( $4 \leq n' \leq 60$ ). Якщо розраховане значення  $K$  потрапляє в допустиму область за 5%-го рівня значущості, приймаємо гіпотезу неавтокорельованості залишків  $\varepsilon_i$  і затверджуємо  $k$ -членну авторегресійну модель (8). Якщо ж  $K$  потрапляє в критичну область за 1%-го рівня значущості, то відкидаємо гіпотезу неавтокорельованості залишків  $\varepsilon_i$  і відмовляємося від моделі (8), при цьому намагаємося збільшити кількість членів рівняння (якщо довжина ряду дозволяє).

За даними табл. 1 складено одночленні або, за наявності автокорельованості залишків  $\varepsilon_i$ , двочленні авторегресійні моделі:

$$\tilde{y}_i = a_1 y_{i-1}; \quad (11)$$

$$\tilde{y}_i = a_1 y_{i-1} + a_2 y_{i-2}. \quad (12)$$

Отримано такі рівняння авторегресійної моделі: одночленне  $\tilde{y}_i = 1,16 y_{i-1}$  ( $K = 2,14$ ) та двочленне

$\tilde{y}_i = 0,79 y_{i-1} + 0,21 y_{i-2}$  ( $K = 2,14$ ) ( $K = 2,14$ ). При цьому побудовані авторегресійні моделі є адекватними за критерієм Неймана та прийнятними для прогнозування, тому що останні члени часового ряду потрапляють у довірчі інтервали з 95%-ю гарантійною ймовірністю.

Для перевірки адекватності побудованих економетричних моделей було обчислено точкові прогнози на I квартал 2016 р. за цими моделями та здійснено їх порівняння з відомим значенням 57 232,1 млн. кВт/год. Відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірювальної величини було визначено за допомогою абсолютних  $\Delta$  і відносних  $\delta$  похибок вимірювання [10, с. 40]:

$$\Delta = X_{вим} - X_d, \quad (13)$$

де  $X_d$  – значення величини, яке прийняте за дійсне.

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{X_d} \cdot 100\%. \quad (14)$$

Результати порівняння наведено в табл. 2.

Таблиця 2  
Прогнозне значення на I квартал 2016 р.

№	Тип економетричної моделі	Прогноз за моделлю	Похибка	
			абсолютна	відносна
1	парна регресійна	48214,50	-9017,6	-
2	авторегресійна одночленна	51124,45	-6107,65	-10,67 %
3	авторегресійна двочленна	42525,41	-14706,7	-25,7 %

Як видно з табл. 2, найменшу відносну похибку прогнозу (-10,67%) має одночленна авторегресійна модель, отже, другий член двочленної моделі практично не впливає на отримані результати, тому для прогнозу можна обмежитися одночленною авторегресійною моделлю.

Виходячи з цього, було зроблено точковий прогноз виробництва електроенергії в Україні за кварталами 2016 р.: I квартал –  $\tilde{y}_9 a_1 y_8 = 1,16 \times 44072,8$  млн. кВт/год.; II –  $\tilde{y}_{10} = 59304,4$  млн. кВт/год.; III –  $\tilde{y}_{11} = 69793$  млн. кВт/год.; IV –  $\tilde{y}_{12} = 79800$  млн. кВт/год.

**Висновки.** Проведено аналіз структури виробництва електроенергії в Україні, який показав, що питома вага складника «теплові електростанції та теплоелектроцентралі» впродовж шести останніх років зменшилася на 4,54% у загальному виробництві електроенергії, така ж тенденція в гідроелектростанцій (2,7%), водночас питома вага складника «атомні електростанції» за цей же період збільшилася на 6,3%. Також майже на 1% збільшилася частка альтернативних джерел енергії.

Визначено базисні та ланцюгові показники ряду динаміки. Результати показали, що розвиток електроенергетичної галузі України з виробництва електроенергії є позитивним, а її показники зростають із року в рік.

Із ряду динаміки виділено тренд. Визначено вид лінії тренду (лінійна функція) та одержано її параметри:  $a_0 = 42703,2$ ;  $a_1 = 1377,8$ . Були побудовані одно- та двочленні авторегресійні моделі:  $\tilde{y}_i = 1,16 y_{i-1}$ ;  $\tilde{y}_i = 0,79 y_{i-1} + 0,21 y_{i-2}$ .

Зроблено прогноз виробництва електроенергії в Україні за кварталами 2016 р.: I квартал –  $\tilde{y}_9 = a_1 y_8 = 1,16 \cdot 44072,8 = 51124,5$  млн. кВт/год.; II –  $\tilde{y}_{10} = 59304,4$  млн. кВт/год.; III –  $\tilde{y}_{11} = 68793$  млн. кВт/год.; IV –  $\tilde{y}_{12} = 79800$  млн. кВт/год.

**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.