

УДК 65.012.2

Каут О.В.

*кандидат економічних наук,
Національна металургійна академія України, м. Дніпро***РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ ПІДТРИМКИ Й УХВАЛЕННЯ РІШЕНЬ
ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ СХЕМ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ****DEVELOPMENT OF THE MODEL OF SUPPORT AND DECISION MAKING
FOR THE PLANNING OF DELIVERY SCHEMES****АНОТАЦІЯ**

На основі наявних методів аналізу ризиків логістичних систем і аналізу ризиків під час проектування розроблено модель оцінки й аналізу ризиків під час оптимізації схем доставки вантажів. Ця модель припускає якісний, кількісний аналіз ситуації (виявлення чинників ризику, їх вплив на результат вирішення завдання), а також алгоритм усунення або зменшення ризиків. На основі кількісного аналізу чинників ризику, що проводиться з використанням аналізу чутливості цільової функції завдання до дій зовнішнього середовища на кожній ділянці перевезення, розроблено багатокритерійну модель оцінки ризиків на ділянках перевезення. Під час вирішення поставленого багатокритерійного завдання з використанням згортки критеріїв особа, що приймає рішення, свідомо розподіляє вагу критеріїв (загальних витрат і ризиків) і таким чином має можливість контролювати рівень ризику (зменшувати витрати за рахунок підвищення ризику або навпаки).

Ключові слова: планування, модель, вантаж, ризик, витрати, логістика.

АННОТАЦИЯ

На основе существующих методов анализа рисков логистических систем и анализа рисков при проектировании разработана модель оценки и анализа рисков при оптимизации схем доставки грузов. Эта модель допускает качественный, количественный анализ ситуации (выявление факторов риска, влияние их на результат решения задачи), а также алгоритм устранения или уменьшения рисков. На основе количественного анализа факторов риска, который проводится с использованием анализа чувствительности целевой функции задания к действиям внешней среды на каждом участке перевозки, разработана многокритериальная модель оценки рисков на участках перевозки. При решении поставленной многокритериальной задачи с использованием свертки критериев лицо, принимающее решение, сознательно распределяет вес критериев (общих расходов и рисков) и таким образом имеет возможность контролировать уровень риска (уменьшать расходы за счет повышения риска или наоборот).

Ключевые слова: планирование, модель, груз, риск, расходы, логистика.

ANNOTATION

On the basis of existent methods of analysis of risks of the logistic systems and analysis of risks at planning the model of estimation and analysis of risks is worked out during optimization of charts of delivery of loads. This model assumes the quality, quantitative analysis of situation (exposure of risk factors, influence of them on the result of decision of task), and also algorithm of removal or reduction of risks. On the basis of quantitative analysis of risk that is conducted with the use of analysis of sensitiveness of objective function of task to operating of environment on every area of transportation factors, the multicriterion model of estimation of risks is worked out on the areas of transportation. At a decision the set multicriterion problem with the use of свертки of criteria, a person an accepting decision consciously distributes scales of criteria (general charges and risks), and thus has the opportunity to control a risk (to decrease expenses, due to the increase of risk or vice versa) level.

Keywords: planning, model, load, risk, charges, logistic.

Постановка проблеми. Доставка вантажів відповідно до графіку з мінімальними витратами – одна з умов ефективності діяльності підприємства. Визначити маршрути перевезення, розподіл вантажопотоків за ними, а також оптимальні терміни відправки вантажів важливо як з погляду оптимізації витрат із доставки, так і для своєчасного забезпечення матеріальними ресурсами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Завданням транспортної логістики присвячена велика кількість літератури [1; 2; 3; 4; 5]. Огляд математичних моделей і методів приведений у [6]. Розглянуті моделі транспортної, складської логістики, методи визначення оптимального розміру замовлень і запасів [7 та ін].

Теоретичні основи дослідження операцій, моделей і методів ухвалення оптимальних рішень викладені у [8; 9; 10; 11], у тому числі під час оптимізації великих систем [12]. Способами вирішення багатьох класів оптимізаційних завдань є методи лінійного [13] і нелінійного [14] програмування.

Завдання транспортної оптимізації часто представляють у формі потоків в мережах, при цьому структура транспортної мережі подається у вигляді орієнтованого графа [15; 16; 17]. Для нелінійних завдань можливість отримання оптимального рішення залежить від виду функції; такі завдання можуть бути вирішені приблизно з використанням методів спуску, або евристичних алгоритмів.

Важливим методом вирішення динамічних оптимізаційних завдань є динамічне програмування [13; 18; 19]. Моделі динамічного програмування широко застосовуються, однак для практичної реалізації таких моделей потрібне повністю детерміноване подання початкових даних. Завдання ухвалення рішень в умовах невизначеності за наявності ймовірнісних чинників розглядаються у [20; 21], запропоновані апарат нечіткої логіки [22], теорія стохастичного програмування [23], імітаційного моделювання, аналізу ризиків. У [19] розглянуто застосування методу динамічного програмування для ухвалення рішень у стохастичних умовах, при цьому параметри зовнішнього середовища подаються у вигляді марківського ланцюга.

Під час здійснення вибору в умовах невизначеності важливо визначити поняття оптималь-

ного рішення. Під час вирішення стохастичних завдань [23] часто керуються критерієм математичного очікування функції мети, тобто втрат або виграшу «в середньому» з урахуванням усього періоду розгляду процесу. Стохастичне моделювання припускає, що керівник має в розпорядженні можливість вибору розподілу вірогідності, який дав би змогу описати характер невизначеності, що міститься в моделі.

Метою статті є підвищення ефективності процесу доставки вантажів за рахунок дослідження і розроблення моделей і алгоритмів підтримки ухвалення управлінських рішень/

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо вибір оптимальних транспортних схем на основі аналізу ризиків логістичної системи. Оптимізаційна модель вирішення такого завдання виглядає таким чином [24]. Як цільова функція прийнятий мінімум загальних витрат, позначимо його як F :

$$F = \sum_{i \in I} \sum_{j=J} \sum_{t=T} (X_{ijt} (C_{ijt} + Cot_{ijt}) + Y_{ijt} Cpr_{ijt}) + \\ + \sum_{i \in I} \sum_{j=J} \sum_{l=L} Ch_{ijl} Z_{ijl} + \sum_{j=J} \sum_{l=L} \sum_{t=T} Ch_{jlt} Z_{jlt} \rightarrow \min$$

де i – номер ділянки перевезення, $i = 1..I$ (кожній ділянці відповідає певний вид перевезення, основні види транспорту: залізничний, автомобільний, морський, річковий, авіа); j – тип ресурсів, $j=1..J$; J – номер пункту перевалки, $J=1$; $t = 1..T$; Δt – тривалість умовного періоду часу для завдання (наприклад, 1 міс.); t_{it} – тривалість перевезення вантажу по ділянці i в період часу t ; C_{ijt} – вартість перевезення по ділянці i ресурсу типу j в період t ; Ch_{ijl} – вартість зберігання ресурсів типу j в точці l в період t ; Cr_{ijlt} – вартість прийому вантажів типу j , доставлених по ділянці i шляхом v у період t (розвантажувальні роботи і супутні операції); Cot_{ijt} – вартість відправки вантажів типу j по ділянці i в період t (навантажувальні роботи і супутні операції); Ch_{jlt} – витрати по зберіганню надлишку ресурсів j -го типу в кінцевій точці в період t ; Cap_{it} – пропускна спроможність перевезення по ділянці i в період t ; Cap_{hlt} – максимальний об'єм зберігання вантажів в точці l в період t ; X_{ijt} , Y_{ijt} – об'єми відправлених і прийнятих ресурсів j -го типу, відправлених по ділянці i в період t ; Z_{jt} – об'єм ресурсів j -го типу, що зберігаються в точці l в період t .

Отримане вирішення завдання ґрунтоване на неточних або усереднених початкових даних, які згодом можуть змінитися, і невідомо, наскільки отримане рішення чутливе до таких змін. У межах аналізу ризиків розглядаються зміни початкових даних, рішення, що приводять до неоптимальності, і різного роду надзвичайні ситуації, що міняють умови завдання. Внаслідок цього початкове оптимізаційне завдання коригується. Після ухвалення рішень про страхування одних ризиків, позбавлення або зниження інших відповідні витрати передбачається врахувати в оптимізаційній моделі.

Узагальнюючи, цільову функцію F з урахуванням вжитих заходів щодо мінімізації ризиків можна представити таким чином:

$$F = F^* + \sum_{i=1..N} St_i + \sum_{i=1..N} U_i \rightarrow \min,$$

де S_{ij} – витрати зі страхування на одиницю вантажу під час перевезення по i -ій ділянці, St – витрати зі страхування подій на i -ій ділянці, U_i – витрати з усунення ризиків на i -ій ділянці. Ризики, що виникають безпосередньо під час транспортування вантажів, є присутніми різною мірою на усіх можливих маршрутах доставки, тому повністю уникнути їх неможливо. Проте можна отримати оптимальне рішення, що враховує імовірність цих ризиків та їх наслідків, включаючи їх в оптимізаційну модель.

Чинники ризику, за якими не знайдено заходів їх зниження (або ці заходи є неефективними), і становитимуть інтегральну оцінку ризику на ділянці перевезення. За цими чинниками слід визначити вірогідність виникнення і можливий розмір збитку. Оскільки вірогідність реалізації ризику часто пропорційна вантажопотоку по ділянці, варіюючи вантажопотоки, можна регулювати остаточний рівень ризику.

За кожним маршрутом виводиться свій інтегральний рівень ризику R_{it} , і мінімізація загального ризику, пов'язаного з процесом транспортування, виливається в критерій оптимізаційного завдання:

$$F_r = \sum_{i=1..N} \sum_{j=1..M} \sum_{t=1..T} (R_{it} X_{ijt}) \rightarrow \min.$$

Як видно з цього виразу, приймається, що рівень втрат пропорційний кількості вантажу, що перевозиться по ділянці. Недолік ресурсів у кінцевій точці, як наслідок тимчасових затримок, може привести, окрім матеріальних втрат (врахованих в основному критерії завдання), до невиконання договірних зобов'язань та ін. Тоді можливий недолік ресурсів у кінцевій точці визначає ще один критерій завдання, за яким оцінюється рівень ризику (F_{rt}). Рівень тимчасового ризику оцінюється за значенням функції F_t . У найпростішому вигляді цю функцію тимчасового ризику можна записати таким чином: Для певного моменту часу t^*

$$F_t = K_{вр} \sum_{t=1..T} X_{Njt-1} - Pp_{jt}$$

де $вр K$ – коефіцієнт тимчасового ризику, що визначає перехід від кількісного значення недоліку ресурсів до деякого рівня ризику, X_{Njt-1} – кількість ресурсів, перевезених у попередній момент часу по останній ділянці перевезення, тобто доставлених у момент t на об'єкт. Тоді критерій тимчасового ризику залежно від зміни функції F_t за зміни параметрів по ділянках перевезення такий:

$$F_r = \sum_{i=1..N} \sum_{j=1..M} \sum_{t=1..T} Q_{it} X_{ijt} \rightarrow \min,$$

де Q_{it} – інтегральний рівень тимчасового ризику по ділянці перевезення i в період часу t .

Розглянемо формування інтегральних рівнів ризику R_{it} і Q_{it} . Для оцінки збитку несприятливих подій оптимізаційній моделі, що приймається як параметр, мало оцінити вірогідність події і математичне очікування втрат [25]. Необхідно також розуміти і враховувати залежність зміни функції мети і результатів рішення задачі від коливань значень параметрів і передбачуваність поведінки цих параметрів. В економічних дослідженнях використовують різні методи кількісної оцінки проектних ризиків. Стосовно цього завдання пропонується використати аналіз чутливості [26]. У процесі аналізу чутливості відбувається послідовно одинична зміна змінних (при цьому тільки одна змінна міняє своє значення, і на цій основі перераховується нова величина використовованого критерію). Потім оцінюється процентна зміна критерію щодо базисного випадку і розраховується показник чутливості, що є процентною зміною критерію до зміни змінної на один відсоток (так звана еластичність зміни показника).

$$\mathcal{E}_\phi = \Delta C(\phi, \Delta\phi) / C(\phi) / (\phi, \Delta\phi),$$

де \mathcal{E}_ϕ – показник чутливості – еластичність, $\mathcal{Z}(\phi)$ і ϕ – базові значення досліджуваних параметрів (наприклад, загальні витрати і значення досліджуваної змінної відповідно), $\Delta C(\phi, \Delta\phi)$ і $\Delta\phi$ – прирости відповідних змінних. Так само обчислюються показники еластичності за усіма змінюваними змінними по кожній ділянці перевезення.

Кожній ризиковій події відповідає зміна певних змінних завдання. У цьому разі змінюваними змінними будуть C_{ijt} – вартість перевезення по i -ій ділянці j -го ресурсу у період часу t , Cap_{it} – пропускна спроможність i -ої ділянки в період часу t , Δt_{it} – тривалість перевезення по i -ій ділянці (параметр імітаційної моделі, обернено пропорційний до пропускної спроможності), а також втрати P_{ijt} , понесені у разі втрати вантажів типу j на ділянці перевезення і період часу t . Вони включають витрати, пов'язані з несвоєчасною доставкою знову придбаних ресурсів, і непрямі втрати, що виникають за додаткового навантаження на ділянки, розраховуються ці втрати з використанням імітаційної моделі.

За кожною подією визначимо, які змінні змінюються, а також зміну значення функції мети за кожним показником з урахуванням незмінних первинних об'ємів перевезення X_{ijt} . Далі, використовуючи результати проведених розрахунків, здійснюють експертне ранжирування ризиків по мірі втрат (наприклад, дуже високі, високі, середні, низькі) й експертну оцінку прогнозованості зміни значень змінних залежно від передбачуваності настання відповідної події (наприклад, висока, низька, середня). Далі експерт може побудувати так звану «матрицю чутливості», що дозволяє виділити найменш і найбільш ризиковані події.

Ступінь зміни змінної, досліджуваної на чутливість, визначається або експертами, або

виходячи з імовірнісних оцінок (математичного очікування зміни). Для повнішого аналізу, особливо це стосується ситуацій, для яких вірогідність виникнення мала або її важко оцінити, вирахуємо приріст функції мети для декількох варіантів зміни змінної. Доцільним видається використати для розрахунку критичні зміни змінної (песимістичний та оптимістичний варіанти), а також середнє значення зміни параметра.

Після обчислення показників чутливості функції мети приведемо кількісні оцінки до балів за єдиною 10-бальною шкалою. У цьому прикладі розрахунок виконано, виходячи з середньої зміни досліджуваного параметра, критичні ж значення використовуються для експертної оцінки і можливого коригування показника чутливості. Крім того, в окрему графу матриці чутливості слід внести міру прогнозованості і вірогідність виникнення чинника ризику. У разі, якщо таку вірогідність оцінити неможливо, тобто особа, що приймає рішення, знаходиться в стані невизначеності, пропонується використати принцип «недостатньої основи» Лапласа. Жоден зі станів природи – станеться подія або не станеться – не вважається пріоритетним, і вірогідність подій приймається рівною [27]. Тобто у разі одного чинника ризику з єдиним можливим результатом вірогідність його появи дорівнюватиме 0,5.

На одній ділянці може бути декілька змінюваних змінних, за кожною з них буде отриманий свій рівень ризику, після чого їх необхідно звести в інтегральну оцінку ризику на ділянці. Відомо, що ланцюг сильний настільки, наскільки сильна її найслабкіша ланка. Тому за рівень ризику на ділянці приймемо максимальний за усіма подіями. При цьому слід враховувати вірогідність виникнення декількох подій одночасно. Тоді, приймаючи, що усі події незалежні одна від одної, розраховуємо максимальний ризик у разі виникнення двох і більше за події одночасно за відомими формулами множення ймовірностей.

Для оцінки чутливості моделі до зміни змінних зручно використати імітаційну модель системи транспортування, яка дозволяє «програти» поведінку системи в часі і показує як зміну матеріальних витрат, так і тимчасові затримки постачання ресурсів. Відповідно до описаної методології [28] розглянемо приклад побудови матриці чутливості, яка будується за усіма ділянками перевезення, розраховується зміна функцій F і F_t (таблиця 1).

Таким чином, з урахуванням основної функції мети і «ризикових» критеріїв оптимізаційне завдання зводиться до багатокритерійного. Є велика кількість підходів до вирішення багатокритерійних оптимізаційних завдань, багато які з них зводиться до знаходження безлічі Парето-оптимальних рішень, а потім вибору з урахуванням переваг осіб, що приймають рішення. Для звуження простору рішень з ура-

Таблиця 1

Приклад матриці чутливості

N з/п	Фактори ризику	Параметри що змінюються по кожній ділянці	Зміна змінної моделі %			Зміна значення цільової функції (втрати) %		
			Мін.	Середнє (імовірне)	Макс.	Мін.	Середнє (імовірне)	Макс.
1	Збільшення тарифів і термінів доставки внаслідок неповної інформації про тарифи і необхідні операції	Cijt tij	5	25	50	2	15	25
2	Затримки на ділянках перевезення у зв'язку із природними умовами	tij	10	30	100	20	50	80
3	Втрати ресурсів внаслідок стихійних лих	Xpotit	1	5	10	4	10	25
4	Затримки ресурсів внаслідок пізнього початку роботи	Capit	2	15	30	5	20	40
5	Затримки і збільшення тарифів на доставку внаслідок некваліфікованої роботи підрядників	Capit	2	15	30	3	20	50

Таблиця 2

Приклад матриці чутливості з прогнозуванням чинника ризику

N з/п	Фактори ризику	Параметри що змінюються по кожній ділянці	Відношення відсотка змін функції мети до відсотка зміни параметра			Чутливість функції мети до зміни параметра	Можливість прогнозування чинника ризику
			Мін.	Середнє (імовірне)	Макс.		
1	Збільшення тарифів і термінів доставки внаслідок неповної інформації про тарифи і необхідні операції	Cijt tij	0,4	0,6	0,5	1	середня (що визначається статистично і експертно)
2	Затримки на ділянках перевезення у зв'язку з природними умовами	tij	2,0	1,7	0,8	8	висока (що визначається статистично)
3	Втрати ресурсів внаслідок стихійних лих	Xpotit	4,0	2,0	2,5	10	дуже низька
4	Затримки ресурсів внаслідок пізнього початку роботи	Capit	2,5	1,3	1,3	6	низька
5	Затримки і збільшення тарифів на доставку внаслідок некваліфікованої роботи підрядників	Capit	1,5	1,3	1,7	6	середня (статистично невизначувана)

хуванням переваг осіб, що приймають рішення, використовують, наприклад, різні види згорток і нормування критеріїв. При цьому важливо визначити відносні ваги критеріїв. Зазвичай пропонується використати традиційні види згорток (узагальнених критеріїв) окремих критеріїв, наприклад [29]:

$$F_x = \sum_i a_i f(x_i)$$

$$F(x) = \prod_i a_i f(x_i)$$

$$F(x) = \min a_i f(x_i)$$

$$F(x) = \min_i \max_j a_i f(x_i),$$

де a_i – коефіцієнти важливості критеріїв (вагові коефіцієнти), визначувані переважно суб'єктивно; $\sum a_i = 1$; $f(x_i)$ – приватний і-й показник (критерій) ефективності. Вибір того або іншого виду згортки визначається характером взаємозв'язків складових її критеріїв (рівнозначні, домінуючі і тому подібне), а також деякими спеціальними обмеженнями на область значень згортки, що впливають зі специфіки конкретного завдання і переваг особи, що приймає рішення. При цьому під час вирішення багатокритерійних завдань із критеріями, що суперечать або частково суперечать, не може існувати єдиного оптимального рішення. Оптимальні рішення в таких завданнях отримують з урахуванням формалізованої думки про ситуацію осіб, що приймають рішення.

Висновки. Найвні методи рішення багатокритерійних завдань так або інакше орієнтовані на ухвалення рішення з урахуванням формалізованої думки експерта. Під час вирішення поставленого багатокритерійного завдання з використанням згортки критеріїв особа, що приймає рішення, свідомо розподіляє ваги критеріїв (загальних витрат і ризиків) і таким чином має можливість контролювати рівень ризику (зменшувати витрати за рахунок підвищення ризику або навпаки).

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Бауэрсокс Дональд Дж., Клосс Дейвид Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок. М.: Олимп-Бизнес, 2001. 640 с.
2. Беленький А.С., Левнер Е.В. Применение моделей и методов теории расписаний в задачах оптимального планирования на грузовом транспорте: Обзор // Автоматика и телемеханика. 1989. № 1. С. 3–77.
3. Долгов А.П., Козлов В.К., Уваров С.А. Логистический менеджмент фирмы: концепция, методы и модели: Учебное пособие. СПб.: Бизнес-пресса, 2005. 384 с.
4. Лубенцова В.С. Математические модели и методы в логистике.: учеб. пособ. Самара.: Самар. гос. техн. ун-т., 2008. 157 с.: ил.
5. Shapiro J.F. Modeling the Supply Chain – Duxbury / Thomson Learning, 2001. 586 pp.
6. Модели и методы теории логистики: Учебное пособие. 2-е изд./ Под ред В.С. Лукинского. СПб.:Питер, 2008. 448 с.
7. Букан Дж., Кенигсберг Э. Научное управление запасами / пер. с англ. М.: Наука, 1967. 423 с.
8. Вагнер Г. Основы исследования операций. М.: Мир, 1973. Т.1. 335 с., Т. 2. 488 с., Т.3. 501 с.
9. Волков И.К. Загоруйко Е.А. Исследование операций: Учеб. для вузов. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 436 с.
10. Глухов В.В. Математические методы и модели для менеджмента. СПб.: Лань, 2005. 528 с.
11. Замков О.О., Толстопятенко А.В., Черемных Ю.Н. Математические методы в экономике: Учебник. М.: Изд-во МГУ, Диас, 1997.
12. Лэсдон Л.С. Оптимизация больших систем. М.: Наука, 1975. 432 с.
13. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология: учебное пособие. М.: КНОРУС, 2010. 192 с.
14. Хедли Дж. Нелинейное и динамическое программирование, пер. с англ., М., 1967.
15. Белов В.В., Воробьев Е.М., Шаталов В.Е. Теория графов. М.: Высш. школа, 1976. 392 с.
16. Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А. Теория графов в управлении организационными системами. М.: Синтег, 2001. 124 с.
17. Ермольев Ю.М. Мельник И.М. Экстремальные задачи на графах. К.: Наукова думка, 1968. 176 с.
18. Беллман Р. Динамическое программирование. М.: Изд-во иностр. лит., 1960. 400 с.
19. Ховард Р. Динамическое программирование и марковские процессы. М.: Сов. радио, 1964.
20. Райфа Г. Анализ решений (введение в проблему выбора в условиях неопределенности). М.: Наука, 1977. 408 с., ил.
21. Резников Б.А. Теория систем и оптимального управления. Часть 3. Принятие решений в условиях неопределенности и адаптация. Учебник. МО СССР, 1988. 140 с.
22. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях // Вопросы анализа и процедуры принятия решений. М.: Мир. 1976. С. 172–215.
23. Ермольев Ю.М. Ястремский А.И. Стохастические модели и методы в экономическом планировании. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1971. 256 с.
24. Крылова О.В. Постановка оптимизационной модели выбора транспортных схем доставки грузов с учетом анализа рисков / Крылова О.В., Степин Ю.П. // Наука и техника в газовой промышленности. 2014. № 3. С. 90–97.
25. Aven T. Risk Analysis. Assessing uncertainties beyond expected values and probabilities. 1 ed., John Wiley and Sons, Inc, April 2008. 204pp.
26. Андреев А.Ф., Зубарева В.Д., Саркисов А.С. Оценка эффективности и рисков инновационных проектов нефтегазовой отрасли: Учебное пособие. М.: МАКС Пресс, 2007. 240 с.
27. Трахтенгерц Э.А., Степин Ю.П., Андреев А.Ф. Компьютерные методы поддержки принятия управленческих решений в нефтегазовой промышленности. М.: Синтег, 2005.
28. Крылова О.В. Задача выбора вариантов схем доставки грузов в стохастической постановке / Крылова О.В. // Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность: тезисы докладов пятой международной молодежно-практической конференции. – М.: Газпром ВНИИГАЗ. 2013. С. 167.
29. Степин Ю.П. Трахтенгерц Э.А. Компьютерная поддержка управления
30. нефтегазовыми технологическими процессам и производствами. Том 1. Методы и алгоритмы формирования управленческих решений. Учебное пособие, 2007. 384 с.