

УДК 330.46:65.011

к.т.н. Лепило Н. Н.,
Бадуненко И. П.

(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, lepilonn@gmail.com)

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье разработана модель управления запасами вспомогательных материалов металлургического предприятия на основе методов нечеткой логики и экспертных оценок. Предложена концептуальная схема системы поддержки принятия решений для ее реализации.

Ключевые слова: управление запасами, вспомогательные материалы, металлургическое предприятие, нечеткие модели, экспертные оценки.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Для металлургических предприятий характерно применение больших объемов материальных ресурсов разнообразной номенклатуры, что приводит к необходимости оптимального управления производственными запасами. Однако на практике, как правило, основное внимание уделяется вопросам управления поставками и запасами основных материалов. В то же время в структуре производственных запасов металлургических предприятий значительна доля запасов вспомогательных материалов, которые характеризуются множеством позиций номенклатуры, разнонаправленностью потребления, трудностями отнесения затрат на производство конкретного вида продукции. Одна из основных проблем в сфере управления этими запасами — наличие длительного времени неиспользуемых материалов [1–2], поэтому задача управления запасами вспомогательных материалов металлургического предприятия является актуальной.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросы эффективного управления запасами рассмотрены в трудах Дж. Шрайбфедера, Б. А. Аникина, Т. А. Родкиной, А. Н. Стерлинговой, О. У. Уайта, Х. Н. Гизатуллина, Р. А. Радионова, А. Р. Радионова, А. М. Зевакова, М. Р. Линдерса и др. [3–6]. В Российской Федерации и других странах СНГ для управления запасами про-

мышленных предприятий наибольшее распространение получил нормативный подход, основанный на установлении норм расхода каждого из материалов [7]. Несмотря на универсальность данного подхода, на металлургических предприятиях технологическое нормирование не может быть применено для всех номенклатурных позиций производственных запасов. В работе [6] изложена суть логистического подхода к управлению запасами и отображены уровни системы управления запасами предприятия. Можно считать, что в настоящее время на крупных промышленных предприятиях первым уровнем является ERP-система, функционирующая на предприятии и предназначенная для планирования его ресурсов. В работах [3–5] подробно рассмотрены следующие уровни логистического подхода: ABC-XYZ-анализ и основные стратегии управления запасами. В работе [1] предложено использовать нечетко-множественный подход для определения границ номенклатурных групп при управлении запасами металлургического предприятия. В работе [8] рассмотрена модель определения оптимальной стратегии управления запасами с учетом неопределенности ряда параметров, значения которых принимаются на основе экспертных оценок.

Постановка задачи. Целью статьи является совершенствование модели управления запасами вспомогательных материалов металлургического предприятия на

основе методов нечеткой логики и экспертных оценок и разработка на ее основе концептуальной схемы системы поддержки принятия решений (СППР).

Изложение материала и его результаты. Управление запасами вспомогательных материалов на металлургических предприятиях осложнено рядом обстоятельств, основными из которых являются:

- огромная номенклатура, включающая в среднем от 5000 до 7000 позиций;
- использование одних и тех же материалов несколькими производственными подразделениями;
- применение косвенного распределения затрат.

В металлургии чаще всего используют простейшие стратегии управления запасами (периодические и с критическими уровнями), причем структуру правила определения момента и объема заказа считают известной, а задачу управления запасами сводят к определению параметров соответствующей стратегии [1].

Для периодической стратегии заказ выполняется в каждом периоде T , а в стратегии с критическими уровнями — в момент, когда уровень запаса снизился до порога заказа Z^{\min} или ниже. В простейших стратегиях предполагается, что объем заказа или имеет постоянную величину Q , или определяется до достижения максимального уровня Z^{\max} . Таким образом, для характеристики любой простейшей стратегии достаточно двух параметров: (T, Q) , (T, Z^{\max}) , (Z^{\min}, Q) , (Z^{\min}, Z^{\max}) .

Формализовать процедуру выбора стратегии управления запасами можно с помощью перекрестного ABC-XYZ-анализа. При этом для каждой из групп ресурсов следует использовать свои механизмы управления:

- AX — постоянная периодичность заказа, система снабжения — (T, Q) , минимальный страховой запас ввиду неболь-

ших колебаний в потреблении и высокой точности прогноза потребления;

- BX, CX — постоянная периодичность заказа, но переменный объем заказа, система снабжения — (T, Z^{\max}) , страховой запас вследствие небольших колебаний в потреблении и высокой точности прогноза потребления;

- AY, BY, CY — переменная периодичность заказа, постоянный объем заказа, система снабжения — (Z^{\min}, Z^{\max}) , страховой запас ввиду существенных колебаний расхода и средней точности прогноза потребления;

- AZ — переменные периодичность и объем заказа, система снабжения — по заявкам, страховой запас вследствие высокой вариации расхода и низкой точности прогноза потребления;

- BZ, CZ — переменные периодичность и объем заказа, система снабжения — (Z^{\min}, Q) , страховой запас ввиду высокой вариации расхода и низкой точности прогноза потребления.

Однако в настоящее время отсутствует общепринятый подход определения границ номенклатурных групп, которые характеризуются координатами точек А, В, С, X, Y, Z. По данным [1, 3], к группе А относятся запасы материалов, составляющие 60–80% стоимости запасов (10–20 % номенклатуры), к группе В — 15–25 % стоимости и номенклатуры, к группе С — 5–15 % стоимости (65–75 % номенклатуры), т. е. А, В, С являются нечеткими множествами. Их функции принадлежности по номенклатуре показаны на рисунке 1.

Распределение коэффициента вариации по группам следующее: X — 0–10 %; Y — 10–25 %; Z — >25 %. Функции принадлежности нечетких множеств X, Y, Z показаны на рисунке 2.

Описание функций принадлежности, изображенных на рисунке 2, представлено следующими формулами

$$\mu_A(c_i) = \begin{cases} 1, & 0 \leq c_i < 10, \\ 0,1 \cdot (20 - c_i), & 10 \leq c_i < 20, \\ 0, & c_i \geq 20. \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_B(c_i) = \begin{cases} 0, & 0 \leq c_i < 10, \\ 0,1 \cdot (c_i - 10), & 10 \leq c_i < 20, \\ 1, & 20 \leq c_i < 25, \\ 0,1 \cdot (35 - c_i), & 25 \leq c_i < 35, \\ 0, & c_i \geq 35. \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_C(c_i) = \begin{cases} 0, & c_i < 25, \\ 0,1 \cdot (c_i - 25), & 25 \leq c_i < 35, \\ 1, & c_i \geq 35. \end{cases} \quad (3)$$

$$\mu_X(v_i) = \begin{cases} 1, & 0 \leq v_i < 10, \\ 0,2 \cdot (15 - v_i), & 10 \leq v_i < 15, \\ 0, & v_i \geq 15. \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_Y(v_i) = \begin{cases} 0, & 0 \leq v_i < 10, \\ 0,2 \cdot (v_i - 10), & 10 \leq v_i < 15, \\ 1, & 15 \leq v_i < 25, \\ 0,2 \cdot (30 - v_i), & 25 \leq v_i < 30, \\ 0, & v_i \geq 30. \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_Z(v_i) = \begin{cases} 0, & v_i < 25, \\ 0,2 \cdot (v_i - 25), & 25 \leq v_i < 30, \\ 1, & v_i \geq 30. \end{cases} \quad (6)$$

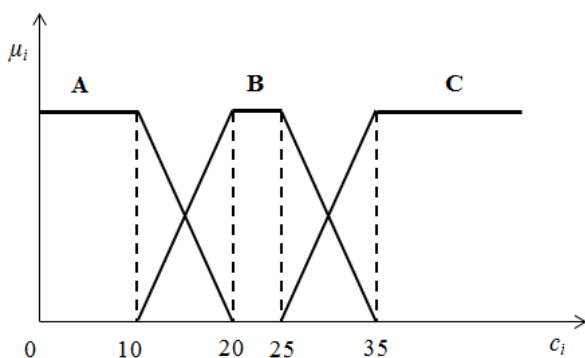


Рисунок 1 Функции принадлежности нечетких множеств А, В, С

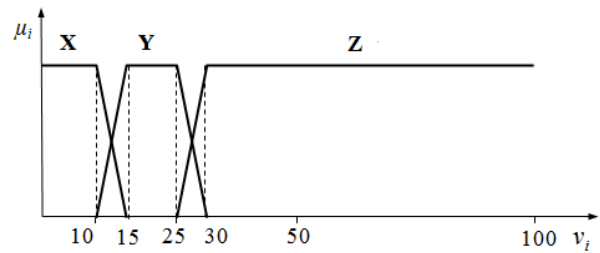


Рисунок 2 Функции принадлежности нечетких множеств X, Y, Z

Нечеткие правила вывода представлены следующими выражениями

$$(c \subseteq \mu_A) \cap (v \subseteq \mu_X) \Rightarrow (y = AX), \quad (7)$$

$$(c \subseteq \mu_A) \cap (v \subseteq \mu_Y) \Rightarrow (y = AY), \quad (8)$$

$$(c \subseteq \mu_A) \cap (v \subseteq \mu_Z) \Rightarrow (y = AZ), \quad (9)$$

$$(c \subseteq \mu_B) \cap (v \subseteq \mu_X) \Rightarrow (y = BX), \quad (10)$$

$$(c \subseteq \mu_B) \cap (v \subseteq \mu_Y) \Rightarrow (y = BY), \quad (11)$$

$$(c \subseteq \mu_B) \cap (v \subseteq \mu_Z) \Rightarrow (y = BZ), \quad (12)$$

$$c \subseteq \mu_C \cap (v \subseteq \mu_X) \Rightarrow (y = CX), \quad (13)$$

$$c \subseteq \mu_C \cap (v \subseteq \mu_Y) \Rightarrow (y = CY), \quad (14)$$

$$c \subseteq \mu_C \cap (v \subseteq \mu_Z) \Rightarrow (y = CZ). \quad (15)$$

На рисунке 3 схематично представлена поверхность, образованная указанными выше функциями принадлежности.

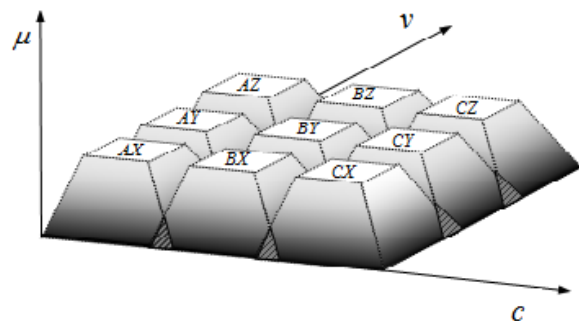


Рисунок 3 Нечеткая матрица ABC-XYZ-анализа

После отнесения материала к конкретной группе и выбора для него соответствующей стратегии управления запасами необходимо рассчитать оптимальный план поставок материала.

При моделировании управления запасами часть параметров модели могут быть заданы точно (вместимость склада; начальный, конечный и страховой размеры запасов; стоимость хранения единицы запаса; минимальный и максимальный объемы поставок и др.). Остальные параметры (например, потребность в материале, стоимость его приобретения и транспортировки) принимаются на основе экспертных оценок специалистов, поэтому при моделировании для их задания целесообразно использовать треугольные нечеткие числа [8].

Рассмотрим эту ситуацию на следующем примере. Пусть необходимо для материала номенклатурной группы ВХ разработать оптимальный план поставок на 4 квартала. Имеются следующие четкие исходные данные о материале:

- начальный запас на складе равен 12 шт.;
- страховой запас составляет 8 шт. и является постоянным для всех временных интервалов;
- минимальный объем поставки равен 2 шт.;
- одно транспортное средство рассчитано на поставку 6 шт.;
- стоимость хранения постоянна и в каждый интервал времени составляет 0,5 тыс. руб./шт.

Данные о потребности в материале, стоимости приобретения этого материала и его транспортировки одним транспортным средством являются нечеткими и получены от экспертов. Они сведены в таблицу 1.

Как указывалось ранее, для группы ВХ рекомендуется постоянная периодичность заказа и переменный его объем, а также наличие страхового запаса. Построим экономико-математическую модель, предназначенную для управления запасами данного материала. Необходимо определить для каждого j -го временного интервала размер заказа q_j .

Таблица 1

Экспертные данные о потребности в материале, стоимости его приобретения и транспортировки

Временные интервалы	Первый эксперт			Второй эксперт		
	Левая граница	Среднее значение	Правая граница	Левая граница	Среднее значение	Правая граница
Потребность в материале в соответствующий момент времени, шт.						
1	8	10	11	9	11	12
2	10	12	14	12	13	16
3	9	11	12	10	12	13
4	12	13	14	13	14	15
Стоимость приобретения единицы материала, тыс. руб.						
1	26	27	28	27	28	30
2	25	26	28	26	28	30
3	25	26	27	26	27	27
4	27	28	29	27	28	30
Стоимость транспортировки одним транспортным средством, тыс. руб.						
1	5	7	8	5	6	7
2	3	4	5	4	5	6
3	3	4	5	4	5	6
4	4	6	8	5	6	7

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА

Затраты на приобретение материала в j -й временной интервал составят

$$z_{mj} = q_j \cdot C_j, \quad (17)$$

где q_j — размер заказа, шт., C_j — стоимость приобретения единицы материала, тыс. руб.

Затраты на транспортировку в j -й временной интервал составят

$$z_{mj} = \left[\frac{q_j}{V_{mp}} \right] \cdot C_{mpj}, \quad (18)$$

где V_{mp} — вместимость одного транспортного средства, шт., C_{mpj} — стоимость транспортировки одним транспортным средством, тыс. руб.

Затраты на хранение материала в j -й временной интервал составят

$$z_{xj} = s_j \cdot C_x, \quad (19)$$

где s_j — запас на конец временного интервала, шт., C_x — стоимость хранения единицы материала, тыс. руб./шт.

В качестве целевой функции модели примем суммарные затраты за весь планируемый период (4 квартала)

$$\sum_{j=1}^4 (z_{mj} + z_{mj} + z_{xj}) \rightarrow \min. \quad (20)$$

Кроме того, должны соблюдаться следующие ограничения

$$q_j \geq 2, \quad (21)$$

$$s_j \geq 8. \quad (22)$$

Задача сведена к задаче линейного программирования. Для ее решения использован инструмент Поиск решения Microsoft Excel.

Результаты решения приведены в таблице 2. Размеры заказов по временным интервалам показаны на рисунке 4, а соответствующие им затраты — на рисунке 5.

Таблица 2

Оптимальный план поставок материала

Наименование параметра	Левая граница				Среднее значение				Правая граница			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Временной интервал	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Запас на начало интервала, шт.	12	8	8	18	12	8	8	19	12	8	8	20
Потребность в материале, шт.	8	11	9	12	10	12	11	13	11	15	12	14
Размер заказа, шт.	4	11	19	2	6	12	22	2	7	15	24	2
Запас на конец интервала, шт.	8	8	18	8	8	8	19	8	8	8	20	8
Затраты на хранение, тыс. руб.	4	4	9	4	4	4	9,5	4	4	4	10	4
Затраты на транспортировку, тыс. руб.	5	7	14	4,5	6,5	9	18	6	15	16,5	22	7,5
Затраты на приобретение, тыс. руб.	106	280,5	484,5	54	165	324	583	56	203	435	648	59
Общие затраты, тыс. руб.	115	291,5	507,5	62,5	175,5	337	610,5	66	222	456	680	70,5
Итоговые затраты за весь период, тыс. руб.	976,5				1189				1428			

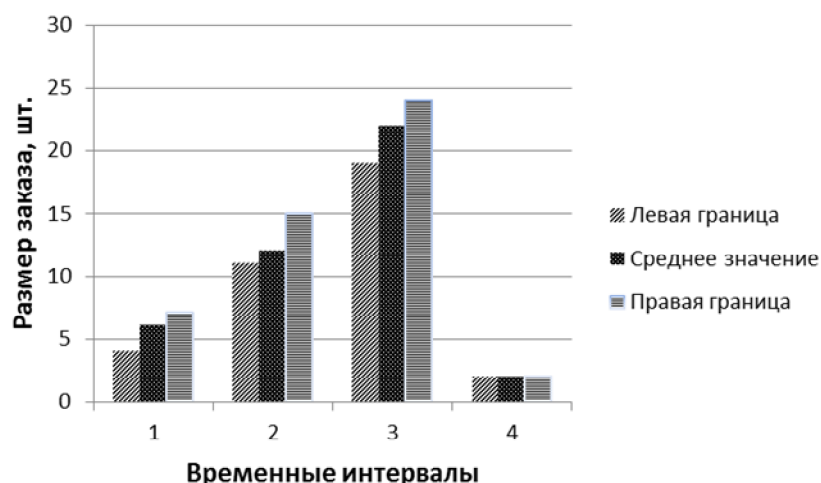


Рисунок 4 Размер заказа по временным интервалам

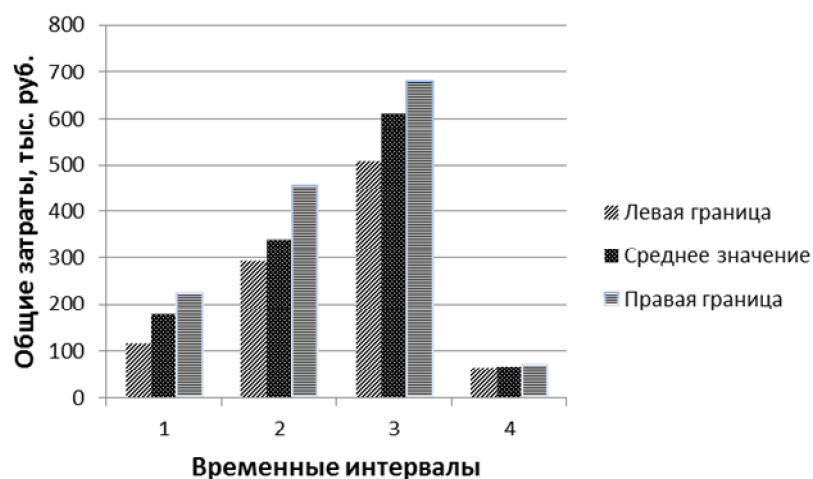


Рисунок 5 Общие затраты по временным интервалам

Как видно из приведенных результатов, итоговые затраты на поставку материала за весь планируемый период в нечетком выражении составят (976,5; 1189; 1428) тыс. руб.

Таким образом, моделирование позволяет оптимизировать управление запасами вспомогательных материалов предприятия и оценить диапазон затрат на управление запасами в условиях нечетких исходных данных.

Рассмотренный подход может быть распространен на другие стратегии управления запасами и положен в основу СППР, концептуальная схема которой приведена на рисунке 6.

В базу данных заносится информация о поступлении и расходовании вспомогательных материалов. На основании этих данных по запросу пользователя выполняется ABC-XYZ-анализ с целью выбора стратегии управления запасами.

После подтверждения пользователем выбранной стратегии с учетом данных экспертов выполняется моделирование, в результате которого определяются характеристики системы управления запасами, удовлетворяющие заданным ограничениям.

Информация о времени выполнения расчета, выданных рекомендациях и результатах принятия решения также заносится в базу данных.

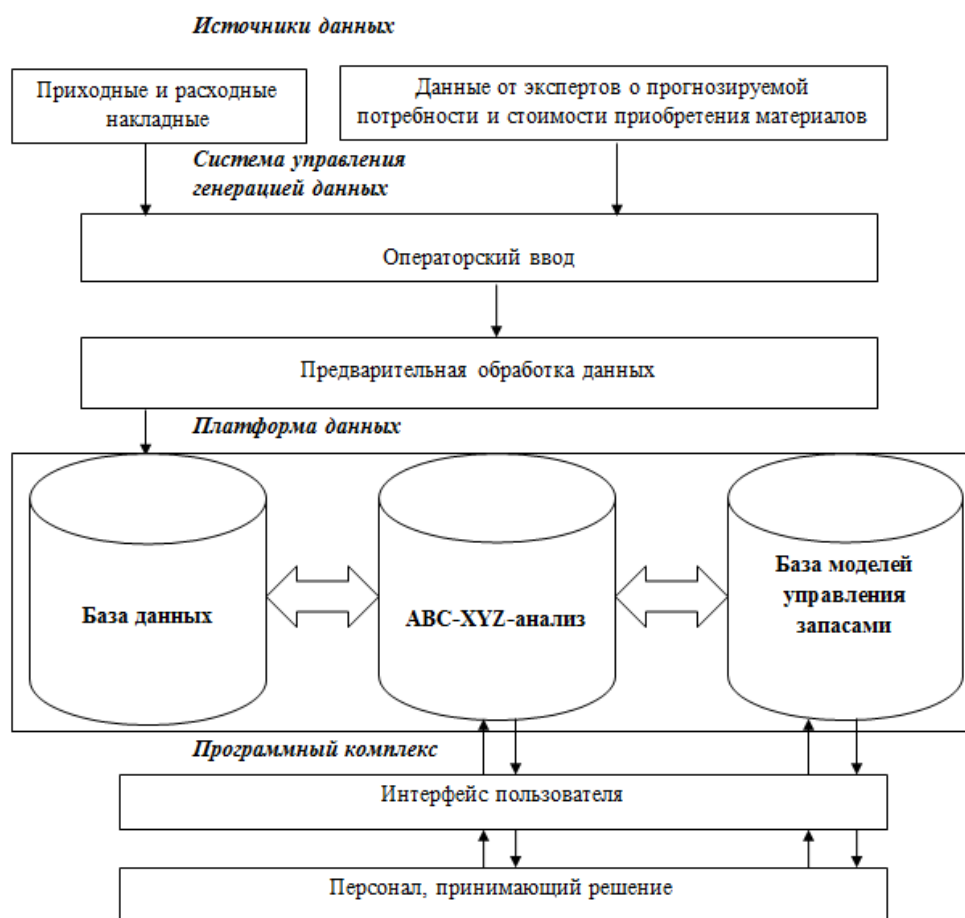


Рисунок 6 Концептуальная схема СППР

Выводы и направление дальнейших исследований. Выявлено, что большинство существующих методов, алгоритмов и экономико-математических моделей ориентированы на управление запасами основных материалов металлургического предприятия. Ввиду многономенклатурности и других специфических особенностей вспомогательных материалов управление их запасами целесообразно организовывать на основе методов нечеткой логики и экспертных оценок.

Выполнено построение нечеткой матрицы ABC-XYZ-анализа с целью форма-

лизации выбора стратегии управления запасами вспомогательных материалов металлургического предприятия, построена экономико-математическая модель управления запасами вспомогательного материала и выполнено моделирование на ее основе в условиях нечетких значений исходных данных, разработана концептуальная схема СППР. В дальнейшем планируется реализовать рассмотренный подход в виде системы поддержки принятия решений для управления запасами вспомогательных материалов металлургического предприятия.

Библиографический список

1. Зайцев, С. И. Нечетко-множественная модель управления запасами металлургического предприятия [Текст] / С. И. Зайцев, И. С. Зайцев // БИЗНЕСИНФОРМ. — 2011. — № 5 (1). — С. 86–89.

2. Рыбникова, В. А. Управление запасами вспомогательных материалов на металлургических предприятиях [Текст] // Известия ИГЭА. — 2008. — № 1 (57). — С. 69–72.
3. Шрайбфедер, Дж. Эффективное управление запасами [Текст] : пер. с англ. / Дж. Шрайбфедер. — [3-е изд.]. — М. : Альпина Паблишер, 2016. — 304 с.
4. Логистика и управление цепями поставок. Теория и практика. Основные и обеспечивающие функциональные подсистемы логистики [Текст] : учебник / под ред. Б. А. Аникина, Т. А. Родкиной. — М. : Проспект, 2015. — 608 с.
5. Стерлигова, А. Н. Управление запасами в цепях поставок [Текст] : учебник / А. Н. Стерлигова. — М. : ИНФРА-М, 2008. — 430 с.
6. Кузубов, А. А. Особенности системы управления запасами в логистической системе предприятия [Текст] / А. А. Кузубов // Азимут научных исследований: экономика и управление. — 2017. — Т. 6. — № 4 (21). — С. 137–140.
7. Белик, И. С. Управление производственными запасами вспомогательных производств металлургических холдингов в рамках управления стоимостью компании [Текст] / И. С. Белик, Р. Р. Латфуллин // Вестник УрФУ. Серия : Экономика и управление. — Т. 14. — № 21. — С. 41–57.
8. Раскатова, М. И. Экспертные методы в управлении запасами [Текст] / М. И. Раскатова // Вестник ЧелГУ. — 2007. — № 5. — С. 119–126.

© Лепило Н. Н.

© Бадуненко И. П.

*Рекомендовано к печати д.э.н., проф. каф. СКС ДонГТУ Бизяновым Е. Е.,
нач. управления экономики, рыночных отношений и собственности
Администрации г. Алчевска ЛНР Гребеньковой С. П.*

Статья поступила в редакцию 22.05.20.

Lepilo N. N., Badunenko I. P. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

STORAGE MODEL OF AUXILIARY MATERIALS OF IRON-AND-STEEL ENTERPRISE

The article elaborates storage model of auxiliary materials of iron-and-steel enterprise based on a fuzzy logic method and expert estimation. There has been given a conceptual scheme of decision support system for its implementation.

Key words: stores control, auxiliary materials, iron-and-steel enterprise, fuzzy models, expert estimation.