УДК 656.13

*Гусев С.А., Золотушкина Ж.А.*
*Саратовский государственный технический университет*

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ

*S. Gusev, Z. Zolotushkina*
*Saratov State Technical University*

# THEORETICAL FOUNDATIONS OF DESIGNING LOGISTICS SYSTEMS ON FUZZY NET MODEL BASE

*Аннотация*. Обсуждаются вопросы проектирования логистических систем с использованием нечеткой сетевой модели. Рассматриваются вопросы сетевого планирования в проектировании и функционировании логистических систем. Проведен анализ известных подходов по сетевому планированию. Отражены этапы логистического цикла заказа с анализом их продолжительности. Изложена предлагаемая для проектирования логистических систем нечеткая модель с последовательностью определения продолжительности, резервов и коэффициентов напряженности работ. Приведена процедура нормализации с получением коэффициентов напряженностей.

*Ключевые слова*: логистика, проектирование, сеть, граф, нечеткая модель, цикл, заказ.

*Abstract*. The article considers the issues of designing logistics systems using fuzzy integrated model. The authors analyzed some approaches to net planning and revealed the stages of logistics cycle of order and their duration. The nature of fuzzy net model identifying duration, resources and coefficient of labor tension is revealed and offered for designing logistics systems. The procedure of normalizing is presented.

*Key words*: logistics, designing, net, graph, fuzzy model, cycle, order.

Сетевое планирование служит для составления и реализации рационального плана проведения операций, предусматривающего осуществление ее в кратчайшие сроки и с минимальными затратами. Методы сетевого планирования дают возможность оценивать «узкие» места операции и вносить необходимые коррективы в ее организацию [ 1, 171]. Сетевой анализ (сетевое планирование) — метод анализа сроков (ранних и поздних) начала и окончания нереализованных частей проекта, позволяет увязать выполнение различных работ и процессов во времени, получив прогноз общей продолжительности реализации всего проекта. Все вероятностные сетевые модели подразделяются на два типа [2]:

– неальтернативные – зафиксирована последовательность выполнения работ (т. е. однозначно определены связи между работами), в то время как продолжительность всех или некоторых работ характеризуется функциями распределения вероятности;

– альтернативные – не только продолжительности всех или некоторых работ, но и связи между работами (а иногда и само выполнение работ) носит вероятностный характер.

В настоящее время известно множество методов вероятностного сетевого планирования, применяемых в логистике, наиболее распространенными из которых являются:

– метод оценки и анализа программ (PERT);

– метод статистических испытаний или метод Монте-Карло;

– метод графической оценки и анализа программ (*GERT*).

Большинство параметров логистического цикла, таких, как число менеджеров, материальных и временных затрат, составляющих основу сетевого графа, не могут быть точно (однозначно) определены, что показывает анализ литературы по исследуемой тематике [3; 5]. Они допускают вариации в каких-либо пределах. В этом случае предлагается описать модель планирования в нечетком виде (задать временные параметры в виде нечетких чисел), что позволит адекватно описать процесс реализации этапов логистического цикла заказа и выполнить его оптимизацию. Проведенный авторами анализ [3, 19] дает следующие данные о продолжительности этапов логистического цикла: подготовка заказа и его передача – 0,5-3 дня, получение заказа и его обработка 1-4 дня, комплектование или изготовление заказа – 1-20 дней, транспортировка заказа – 2-10 дней, получение заказа потребителем (доставка потребителю) 0,5-3 дней. В работе [5, 344] рассматривают пример организации доставки материальных ценностей, где установлено следующее время для обработки заказов у производителей (табл. 1). Представление в виде нечеткого сетевого графа дает возможность задать интервальные значения временных параметров работ, рассчитать параметры сетевого графа и оценить их эффективность.

*Таблица 1*

***Среднее время обработки заказа***

| ***Участок снабжения*** | ***Дни, в среднем*** |
|---|---|
| От поставщика, размещающего заказ, до поставщика, получившего его | 1,9 |
| От поставщика, получившего заказ, до выполнения заключительных административных функций | 2,1 |
| От выполнения заключительных административных функций до отгрузки заказа | 2,2 |
| От поставщика, отгрузившего заказ, до получившего его потребителя | 4,1 |
| Итого | 10,3 |

Так, при задании временных параметров удобно использовать нечеткие числа, показывающие одновременно «пессимистическое» и «оптимистическое» представление о диапазоне изменения рассматриваемых параметров, с ядром, определяющим наиболее правдоподобное значение. Для задания параметров и выполнения расчетов удобно использовать нечеткие числа *LR*-типа в унимодальном или толерантном виде [4].

Работа задается временными параметрами в виде интервала $[t_{\min}, t_{\max}]$.

Обозначим временной параметр i-ой работы как нечеткое число $\widetilde{t}_i = [t_{\min}, t_{\max}]$. Тогда нечеткая продолжительность пути $P_j$, будет определяться как

$$\widetilde{L}_{Pj} = [l_{Pj\min}, l_{Pj\max}] \quad (1)$$

$$\widetilde{L}_{Pj} = \sum_{i=1}^{ni} \widetilde{t}_i (P_j \in G) = \sum_{i=1}^{nj} [t_{i\min}(P_j), t_{i\max}(P_j)] = \left[ \sum_{i=1}^{nj} t_{i\min}(P_j), \sum_{i=1}^{nj} t_{i\max}(P_j) \right]$$

(2)

где: $n_j$ - количество работ пути $P_j$.

Для сравнительной оценки продолжительностей путей использовалась операция отношения (>,<) над величинами $O_{LPj}$.

$\forall P_j \in G$

$$O_{LPj} = \frac{l_{Pj\min} + l_{Pj\max}}{2} \quad (3)$$

Резервы путей выполнения работ определяются исходя из выражения

$$\widetilde{R}_{Pj} = \widetilde{L}_{Pkp} - \widetilde{L}_{Pj} \quad \forall P_j \in G \quad (4)$$

Арифметические операции с нечеткими числами интервального вида:

$$[a_1, a_2] + [b_1, b_2] = [a_1 + b_1; a_2 + b_2]$$

$$[a_1,a_2]*[b_1,b_2]=[\min(a_1,b_1;a_1,b_2;a_2,b_1;a_2,b_2)$$
$$\max(a_1,b_1;a_1,b_2;a_2,b_1;a_2,b_2)] \quad (5)$$
$$[a_1;a_2]/[b_1;b_2]=[a_1;a_2]*[1/b_2;1/b_1]$$
$$\forall P \in G$$

С применением операции нечеткой математики выражение (5) примет вид

$$\widetilde{R}_{Pj}=\widetilde{L}_{Pkp}-\widetilde{L}_{Pj}=[l_{Pkp\min}-l_{Pkp\max}]-[l_{Pj\min}-l_{Pj\max}]=[l_{Pkp\min}-l_{Pj\max},\ l_{Pkp\max}-l_{Pj\min}] \quad (6)$$

Рассмотрим полные резервы работ графа G

$$\widetilde{R}_n(i,j)=\widetilde{t}_n(j)-\widetilde{t}_p(i)-\widetilde{t}(i,j), \quad (7)$$

где, $\widetilde{t}_n(j),\widetilde{t}_p(i)$ - нечеткие поздний и ранний сроки свершения событий j,i работы (i,j) соответственно;

$\widetilde{t}(i,j)$- нечеткая продолжительность работы (i,j);

$\widetilde{R}_n(i,j)$- нечеткий полный резерв времени работы (i,j)

$$\widetilde{t}_n(j)=\widetilde{L}_{kp}-(\widetilde{L}_{P(j\div c)})_{\max}; \quad (8)$$
$$\widetilde{t}_p(i)=(\widetilde{L}_{p(I\div i)})_{\max}; \quad (9)$$

где, $(\widetilde{L}_{P(j\div c)})_{\max}$ - максимальная нечеткая продолжительность пути из события j в конечное событие C графа G;

$(\widetilde{L}_{p(I\div i)})_{\max}$ - максимальная нечеткая продолжительность пути из начального события I графа G в событие i.

Для оценки максимальных продолжительностей путей $(\widetilde{L}_{P(j\div c)})_{\max}$ и $(\widetilde{L}_{p(I\div i)})_{\max}$ производился расчет и анализ $O_{Lp(j\div c)}$и $O_{Lp(I\div i)}$ для всех путей, связанных с событиями рассматриваемой работы (i,j). В табл. 7 приведены нечеткие значения полных резервов работ графа G и четкая оценка их значений.

Определим нечеткие коэффициенты напряженности работ графа G в виде

$$\widetilde{K}_{H(i,j)}=\frac{\widetilde{t}(L_{\max})-t'(L_{kp})}{\widetilde{t}(L_{kp})-t'(L_{kp})},\frac{\widetilde{L}_{P\max(i,j)}-\widetilde{L}_{PLkp(i,j)}}{\widetilde{L}_{Pkp}-\widetilde{L}_{PLkp(i,j)}} \quad (10)$$

где: $\widetilde{L}_{P\max}(i,j)$- нечеткая продолжительность максимального пути, проходящего через работу (i,j);

$\widetilde{L}_{Pkp}(i,j)$- нечеткая продолжительность работ критического пути, совпадающих с максимальным путем, проходящим через работу (i,j);

$\widetilde{L}_{Pkp}$- нечеткая продолжительность критического пути.

В основу выполнения операций деления при расчете $\widetilde{K}_{H(i,j)}$ положены выражения, применимые для нечетких чисел, представленных в интервальном виде. Рассчитаем $\widetilde{K}_{H(i,j)}$ для работ, не лежащих на критическом пути графа.

Для приведения значений $\widetilde{K}_{H(i,j)}$ к единичному интервалу предлагается использовать функцию

$$f(k_{H(i,j)})=\frac{e^{2k_{H(i,j)}}-1}{e^{2k_{H(i,j)}}+1}. \quad (11)$$

Согласно процедуре нормализации получим коэффициенты напряженностей

$$\widetilde{k}_H^N(i,j)=\frac{e^{2k_{H\min(i,j)}}-1}{e^{2k_{H\min(i,j)}}+1},\frac{e^{2k_{H\max(i,j)}}-1}{e^{2k_{H\max(i,j)}}+1}. \quad (12)$$

В критическую (наиболее нагруженную) зону попадают работы с $\widetilde{k}_H^N(i,j)\in[0{,}75;1]$. Резервную (имеющую значительные простои) зону образуют работы с $\widetilde{k}_H^N(i,j)\in[0;0{,}75]$. Работы с $\widetilde{k}_H^N(i,j)\in[0{,}5;0{,}75]$ формируют промежуточную (оптимальную по напряжённости работ) зону.

При оптимизации процесса планирования следует перераспределить временные ресурсы, снять напряженность работ или работы критической зоны и нагрузить работу относительно резервной зоны. Это позволяет определить не только параметры сетевого графа, но и наиболее вероятные их значения с предельными диапазонами значений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Абчук В.А. и др. Справочник по исследованию операций / Под общ. ред. Ф.А. Матвейчука. М.: Воениздат, 1979. 368 с.
2. Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс] [сайт]. Режим доступа URL: http://ru.wikipedia.org/wiki (дата обращения 20.08.11).
3. Модели и методы теории логистики : учеб. пособие / под ред. В.С. Лукинского. 2-е изд. СПб. [и др.] : Питер, 2008. 448 с.
4. Тэрано Т. Прикладные нечеткие системы / Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно. М.: Мир, 1993. 368 с.
5. Уотерс Д. Логистика. Управление цепью поставок. Пер. с англ. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 503с.