МОДЕЛИРОВАНИЕ МОРСКИХ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК НА ОСНОВЕ ЭВРИСТИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТНОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ И СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ С НЕОПРЕДЕЛЕННЫМИ ДЛИТЕЛЬНОСТЯМИ ОПЕРАЦИЙ

MARINE FREIGHT SHIPPING MODELING BASED ON HEURISTIC POSSIBILISTIC CLUSTERING AND NETWORK PLANNING WITH UNCERTAIN ACTIVITY DURATIONS

Д. А. Вятченин, Ю. Н. Сотсков (Минск, Беларусь)

Морское судоходство является одним из наиболее безопасных видов транспорта. Если не учитывать крайне дорогостоящий воздушный транспорт, то морской транспорт является, по сути, единственным способом перевозки между континентами. Среди основных преимуществ морского транспорта в первую очередь выделим следующие:

- большая грузоподъемность морских судов и пропускная способность портовых хозяйств;
- низкая себестоимость морских перевозок;
- относительно низкие капиталовложения на развитие морской транспортной инфраструктуры;
- низкие риски потерь, повреждений, а также хищений грузов.

Вместе с тем, морскому транспорту присущ и ряд недостатков, в частности, отметим следующие из них:

- пропускная способность портовых хозяйств ограничена технологическими и техническими возможностями, модернизация и переоборудование морских портов и терминалов требует значительных капиталовложений;
- высокая зависимость морского транспорта от метеорологических условий, ограниченность навигационного периода, необходимость привлечения ледоколов для зимней проводки морских судов к портам назначения;
- морскому транспорту присуща сравнительно низкая скорость движения.

Следует различать два типа морских сообщений: линейное и трамповое судоходство. Линейное судоходство – это специфическая форма морских транспортных услуг, при которой перевозчик организует между установленными портами регулярную доставку грузов сборными отправками по заранее объявленному расписанию. При этом для всех отправителей грузов используется стандартный договор-коносамент и стабильные цены. Коносамент – это документ, выдаваемый судовладельцем или капитаном судна грузоотправителю, выполняющий три основные функции: документ удостоверяет принятие груза к перевозке, является товарораспорядительным документом и свидетельствует о заключении договора о перевозке груза.

Трамповое судоходство – это морское судоходство, при котором работа грузовых транспортных судов не связана с постоянными районами плавания и не ограничена определенным видом груза. При этом фрахт устанавливается по соглашению сторон. При перевозке грузов в трамповом судоходстве в качестве договора перевозки оформляется чартер.

Будучи свободным в выборе грузов и маршрутов перевозки среди многочисленных судовых партий, обращающихся на рынке в качестве спроса на тоннаж, судовладелец выбирает для своего трампового судна тот вариант, который сулит ему наибольшую выгоду. Последняя, в конечном итоге, определяется ставкой фрахта. Как следствие, судно направляется обычно туда, где больше платят. Данное обстоятельство и определяет движение трамповых судов в сторону высоких ставок фрахта, что, в свою очередь, является следствием перевозки массовых грузов большими судовыми партиями.

Разделение судоходства на линейное и трамповое предопределяет принципиальные отличия в формировании факторов, оказывающих влияние на эффективность транспортного процесса в системе указанных видов грузового судоходства [1].

При планировании рейсов, с учетом портов захода и их пропускной способности, а также районов Мирового океана и других факторов, определение оптимального маршрута целесообразно производить на основе сетевого планирования [2]. Учитывая недостатки, присущие морским перевозкам, в особенности влияние метеорологических условий и пропускной способности портовых хозяйств, зачастую невозможно априори определить точный срок выполнения той или иной логистической работы, так что возникает задача сетевого планирования с интервальными длительностями операций [3], [4], [5]. Для минимизации начальной сети $G^{(*)}$ с целью построения множества доминирующих путей для сети $G^{(*)}$, в работах [3], [4], [5] предложена методология, состоящая в последовательном применении двух алгоритмов, в результате чего получается минимальная подсеть G, содержащая хотя бы один критический путь исходной сети $G^{(*)}$ для каждого допустимого вектора длительностей операций. Однако возникает задача определения в сети G такого единственного пути, который был бы достаточно представительным для сети $G^{(*)}$. Для решения этой задачи предлагается следующая простая эвристика: искомый путь должен отличаться от потенциально критических путей тем, что с точки зрения задачи классификации его можно рассматривать как «выброс». Для обнаружения таких «выбросов» в интервально-значных данных можно воспользоваться методом, предложенным в работе [6], основанным на применении аппарата эвристической возможностной кластеризации [7]. Таким образом, методика выбора единственного критического пути в сетевой модели $G^{(*)}$ с заданными допустимыми значениями длительностей операций может быть представлена в виде последовательности двух шагов:

1. применением к начальной сетевой модели $G^{(*)}$ метода построения множества потенциально критических путей, строится сеть G;

2. к множеству путей, образующих сеть G, применяется метод обнаружения «выбросов» в интервально-значных данных и обнаруженные «выбросы» образуют подмножество потенциально критических путей для дальнейшего анализа с целью выбора единственного критического пути.

Следует отметить, что предельными случаями применения методологии обнаружения «выбросов» в интервально-значных данных к множеству путей, образующих сеть G, является случай, когда «выбросы» вообще не обнаруживаются, и случай, когда каждый из путей, образующих сеть G, является единственным элементом нечеткого кластера, то есть «выбросом». В обеих ситуациях выбор единственного критического пути в сетевой модели G можно производить на основе экспертного оценивания при планировании морских грузоперевозок. Кроме того, результаты применения второго шага предложенной методологии зависят от выбора способа измерения различия между классифицируемыми объектами. К примеру, в работе [8] предложена следующая мера близости для интервально-значных нечетких множеств:

$$s_I(x_i,x_j)=1-\frac{1}{\sqrt[\lambda]{m_1}}\sqrt[\lambda]{\sum_{t_1=1}^{m_1}\left|\frac{\mu_{x_i}(x^{t_1(min)})+\mu_{x_i}(x^{t_1(max)})}{2}-\frac{\mu_{x_j}(x^{t_1(min)})+\mu_{x_j}(x^{t_1(max)})}{2}\right|^{\lambda}}, \qquad (1)$$

где m_1 – количество элементов t_1 универсума, на котором определено интервально-значное нечеткое множество x_i, λ – такой параметр, что выполняется неравенство $1 \le \lambda < \infty$, а $\mu_{x_i}(x^{t_1(min)})$ и $\mu_{x_i}(x^{t_1(min)})$ – наименьшие и наибольшие значения функции принадлежности интервально-значного нечеткого множества $x_i \in X$. В работе [7] предлагается следующая мера различия между интервально-значными нечеткими множествами:

$$e_I(x_i, x_j) = \sqrt{\frac{1}{m_1} \sum_{t_1=1}^{m_1} \left(\frac{1}{2^2} \sum_{\substack{t_2 \in \{min, \\ max\}}} \left(\mu_{x_i}(x^{t_1(t_2)}) - \mu_{x_j}(x^{t_1(t_2)}) \right)^2 \right)}. \qquad (2)$$

Предложенную методологию целесообразно проиллюстрировать на следующем примере. Пусть $G^{(*)} = (X^{(*)t_1}, E^{(*)})$ – начальная сеть, рассмотренная в работе [3] и изображенная на рис. 1, представленная в форме «работы–вершины».

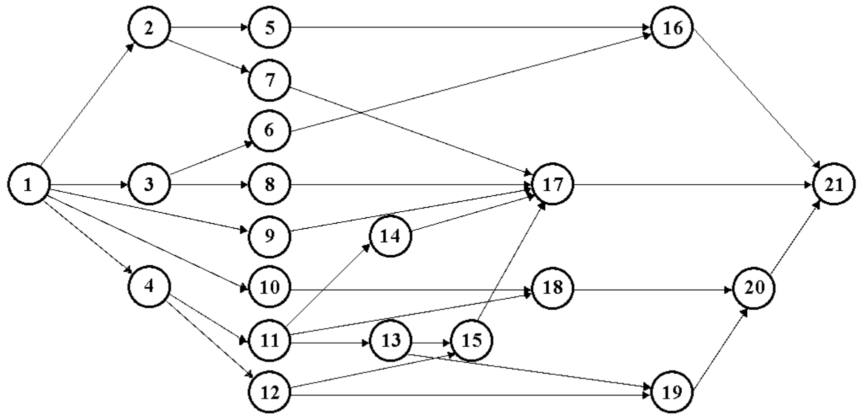

Рис. 1. Сетевая модель $G^{(*)}$ проекта

Множество $X^{(*)} = \{x^{(*)1}, \ldots, x^{(*)21}\}$ представляет собой множество вершин начального орграфа $G^{(*)}$, где $card(X^{(*)}) = 12$. Минимальные и максимальные численные значения продолжительности работ для начальной сети проекта $G^{(*)} = (X^{(*)t_1}, E^{(*)})$ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Работы	Номера вершин																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
мин.	0	11	2	1	12	16	15	16	15	3	1	14	2	18	8	8	9	22	14	8	0
макс.	0	14	4	3	14	19	19	22	22	4	2	18	8	24	14	10	13	25	16	12	0

После применения первого шага предложенной методики к сети $G^{(*)} = (X^{(*)t_1}, E^{(*)})$ был получен орграф, представленный на рис. 2.

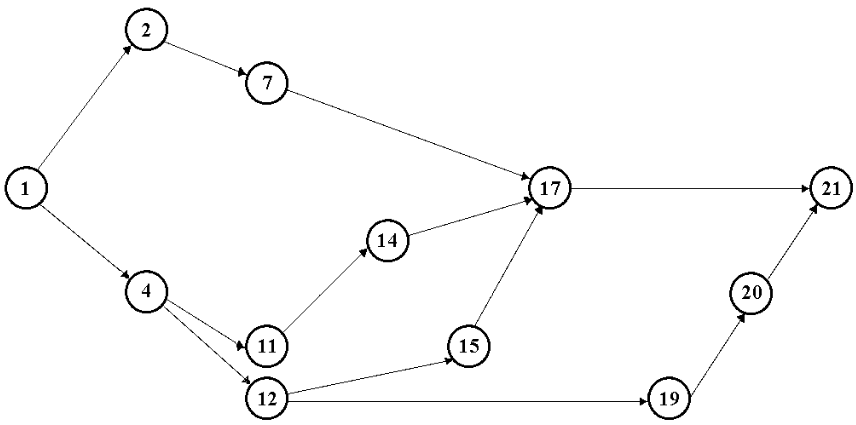

Рис. 2. Сеть *G*, построенная из сети $G^{(*)}$ после первого шага

Таким образом, построенное множество $X = \{ x_1,\ldots,x_4 \}$ путей является доминирующим орграфом для начальной сети $G^{(*)} = (X^{(*)t_1}, E^{(*)})$. Характеристики путей сети проекта $G = (X^{t_1}, E)$ представлены в табл. 2, которая является матрицей вида «объект-признак» с интервальными значениями признаков.

Таблица 2

Номера путей, i	Номера вершин, t_1									
	2	4	7	11	12	14	15	17	19	20
1	[11, 14]	[0, 0]	[15, 19]	[0, 0]	[0, 0]	[0, 0]	[0, 0]	[9, 13]	[0, 0]	[0, 0]
2	[0, 0]	[1, 3]	[0, 0]	[1, 2]	[0, 0]	[18, 24]	[0, 0]	[9, 13]	[0, 0]	[0, 0]
3	[0, 0]	[1, 3]	[0, 0]	[0, 0]	[14, 18]	[0, 0]	[8, 14]	[9, 13]	[0, 0]	[0, 0]
4	[0, 0]	[1, 3]	[0, 0]	[0, 0]	[14, 18]	[0, 0]	[0, 0]	[0, 0]	[14, 16]	[8, 12]

Представленная в таблице 2 матрица была обработана в соответствии со вторым шагом предложенной методики. Результаты кластеризации для меры близости (1) и меры различия (2) представлены на рис. 3, где символом ○ обозначены значения принадлежности объектов первого класса, а символом ● – второго класса.

а) б)

Рис. 3. Значения принадлежностей объектов нечетким кластерам:

а) – при использовании меры близости (*1*); *б*) – при использовании меры различия (*2*)

Первый путь, который может рассматриваться как «выброс» и является решением задачи, изображен на рис. 4.

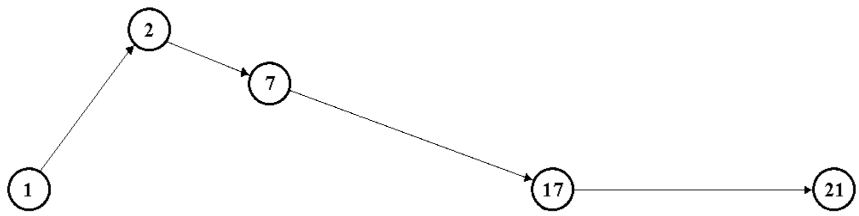

Рис. 4. Выбранный единственный критический путь

Предложенная методика выбора единственного критического пути при интервальной неопределенности длительностей операций может оказаться полезной при планировании морских грузоперевозок.

Литература

1. **Иванова Т. Н.** Линейное и трамповое судоходство как организационные формы торгового мореплавания. М.: Юрист, 2009. 35 с.
2. **Кофман А., Дебазей Г.** Сетевые методы планирования и их применение. М.: Прогресс, 1968. 180 с.
3. **Сотсков Ю. Н., Шилак А. Н.** Минимизация сетевой модели при заданных границах допустимых значений длительностей операций//Препринт № 2. Минск: Институт технической кибернетики Национальной академии наук Беларуси, 2000. 24 с.
4. **Sotskov Y. N., Shilak A. N.** Minimization of project-network with given bounds of activity durations//Operations Research Proceedings 2000/Ed. by B. Fleischmann et al. Heidelberg: Springer-Verlag, 2001. P. 384–387.
5. **Sotskov Y. N., Werner F.** A minimal dominant set of paths for the project-network with interval activity durations//Preprint Nr. 12. Magdeburg: Fakultät für Mathematik, Otto-von Guericke-Universität Magdeburg, 2014. 16 p.
6. **Viattchenin D. A.** Detecting outliers in interval-valued data using heuristic possibilistic clustering//Journal of Computer Science and Control Systems. 2012. Vol. 5, No 2. P. 39–44.
7. **Viattchenin D. A.** A Heuristic Approach to Possibilistic Clustering: Algorithms and Applications. Heidelberg: Springer-Verlag, 2013. 227 p.
8. **Ju H., Yuan X. H.** Similarity measures on interval-valued fuzzy sets and application to pattern recognition//Fuzzy Information and Engineering / ed. by D.Y. Cao. Heidelberg: Springer-Verlag, 2007. P. 875–883.