

УДК 331.4.108.43

Е.В.Ревенко

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПЕРАТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ЭКИПАЖЕЙ СУДОВ - ЭФФЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО РОСТА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ АСК «УКРРЕЧФЛОТ»

*Конкурентоспособность АСК «Укрречфлот» во многом зависит от наличия информации для принятия решений по формированию экипажей судов транспортного и туристического флота с учетом состояния фрахтового рынка перевозок и текущего состояния экипажа судна в условиях быстрой динамики требований к безопасности мореплавания и судовождения.*

### **Общая постановка проблемы.**

Проблема управления персоналом, а более точно человеческими ресурсами, в силу своей сложности, многовариантности и многоаспектности, требует постоянного внимания специалистов в сферах управления, экономики, психологии, социологии и других отраслей науки и практики.

Ураганный темп внедрения достижений НТП, начиная со второй половины XX века, привел к резкому расширению объемов мировой торговли, большую часть которой осуществляют водные виды транспорта. Растущее количество судов занятых перевозками, их количество достигает 95 тысяч единиц, усложнение технологии перевозок на основе логистического и системного подхода объективно требует новых подходов, концепций и идей на основе методологии машинного моделирования.

### **Анализ публикаций по данной проблеме.**

Наличие многих математических методов моделирования сложных социально-экономических и технико-технологических проблем, разработанных Дж. Данцигом, Я. Корнаи, Р. Беллманом, Дж. Питерсоном, а также Л.В.Канторовичем, В.С. Михалевичем, А.А. Бакаевым, И.Н. Коваленко, Н.П. Бусленко и их учениками В.А. Забродским, Т.С. Клебановой, Д.А. Поспеловым, А.И. Пушкарем, Н.В. Яровицким позволили В.М. Глушкову сформулировать методологию машинного моделирования и эксперимента.

В области управления персоналом внимание зарубежных ученых начиная с конца XIX века было сфокусировано на разработке общей теории управления, менеджмента, а также роли «человеческого фактора». Совокупность полученных научно-обоснованных результатов в различных аспектах управления человеческими ресурсами стала столь велика и важна для развития мирохозяйственного пространства, что в 1979 и 1992 г.г. американским экономистам Шульцу Т.У. и Беккеру Г.С. были присуждены нобелевские премии (соответственно).

### **Не исследованная часть общей проблемы.**

На сегодняшний момент остаются недостаточно исследованными проблемы управления персоналом и человеческими ресурсами с использованием методов математического моделирования, в частности сетей Петри,

применительно к водным видам транспорта, а также предприятиям, компаниям и учреждениям морской отрасли.

### **Изложение основной части статьи.**

Общий подход к проблеме конкурентоспособности.

Как отмечают О. Белорус и Ю. Мацейко [1], *конкурентоспособность* – понятие многофакторное, поэтому существует много концепций и теорий, в которых приводятся определения конкурентоспособности. Целесообразно сделать ссылку на Ежегодник мировой конкурентоспособности, который издается Мировым экономическим форумом совместно с Центром Мирового развития при Гарвардском Университете (Великобритания). Согласно этому документу определены пять основных сфер конкурентоспособности: политическая, правовая, образовательная, социально-культурная и экономическая, а к числу факторов конкурентоспособности относится экономическая деятельность, правительственная эффективность, бизнес-эффективность и инфраструктура.

Многие ученые и специалисты считают, что нет конкуренции отдельных стран, а конкурируют между собой предприятия, организации, учреждения этих стран, основанные на различных формах собственности, на соответствующих рынках товаров и услуг.

### **Модель оперативного назначения экипажей и судов – эффективное средство конкурентоспособности АСК «Укрречфлот».**

АСК «Укрречфлот» [2-4] (далее по тексту Укрречфлот) является хозяйственным объектом с корпоративной собственностью, без доли государственной собственности, владея большим по объему транспортным и туристическим флотом проекта «302». Основу транспортного флота составляют суда класса «река-море» следующих проектов «Десна», «Ариэль», «Волго-Дон», «Волго-Балт», «559», «Днепр», «Сормовские», «Буг» и др. Укрречфлот имеет статус национального перевозчика.

Укрречфлот владеет большим количеством грузовых и туристических судов различных проектов.

Используя метод сетей Петри [5-7], рассмотрим задачу оперативного формирования экипажей грузового и транспортного флота Укрречфлота.

Рассмотрим описание модели назначения экипажей и судов на грузовые и туристические суда Укрречфлота.

Туристические суда совершают линейные рейсы по известным маршрутам с фиксированным графиком прибытия-отправления в промежуточные и конечные пункты. С грузовыми судами ситуация несравненно сложнее. Формы организации судоходства и мореплавания определяются главным образом характером грузопотоков. Устойчивые и массовые грузопотоки создают условия для специализации перевозочного комплекса (флот, порты, перегрузочные комплексы, терминалы, склады, элеваторы и др.), а это, в свою очередь, подразумевает привязку специализированных судов к направлению перевозок.

Классификация, принятая в мировой практике, предусматривает разграничение на траповое и линейное судоходство.

Суда трапового судоходства работают без расписания, согласованного только между перевозчиком (судовладельцем) и грузовладельцем. Работа грузовых судов не связана с определенными районами плавания, портами погрузки и выгрузки, не ограничена определенным грузом, а цена перевозки (фрахт) устанавливается по согласованию сторон, в зависимости от конъюнктуры фрахтового рынка.

Как уже отмечалось, траповое судно не работает по фиксированному маршруту, его можно встретить в любой точке мира в поисках груза (в основном навалочного). Эти грузы включают в себя уголь, зерно, сахар, лес, руду, удобрения, копру и т.д., которые перевозятся судовыми партиями. Многие из этих грузов имеют сезонный характер отправок.

Собственник судна, он же капитан, на каждый рейс сам подбирает экипаж.

Возникающая в данном случае существенная неопределенность занятости плавсостава при необходимости в кратчайшие сроки сформировать квалифицированный экипаж, безопасно укомплектованный в соответствии со Свидетельством о минимальном составе экипажа Инспекции Главного государственного регистратора флота Украины, требует привлечения методов современного математического моделирования - сетей Петри, как средства выработки научно-обоснованных проектов управленческих решений, учитывающих производственную специфику и неотъемлемый мотивационно-психологический человеческий фактор.

Обозначим через  $P$  количество классов судов (проектов), находящихся в эксплуатации Укрречфлота. Количество судов в  $i$ -ом проекте будем считать равным  $N_i$ ,  $i = \overline{1, P}$ . Количество судов каждого из проектов Укрречфлота, обозначим соответственно,  $N_1 = 8$ ,  $N_2 = 8$ ,  $N_3 = 8$  и так далее.

Минимально допустимое количество членов экипажа  $K_{ij}^1$   $i$ -го проекта  $j$ -ой должности определяется Свидетельством о минимальном составе экипажа Инспекции Главного государственного регистратора флота Украины,  $i = \overline{1, P}$ ,  $j = \overline{1, D}$ , где  $D$  – общее число должностей на грузовом судне.

Оптимальное количество членов экипажа судна  $i$ -го проекта  $j$ -ой должности, необходимое для качественной транспортировки при полной загрузке по штатному расписанию, обозначим через  $K_{ij}^2$ ,  $i = \overline{1, P}$ ,  $j = \overline{1, D}$ .

В целом, при  $D = 9$  должностной состав экипажа на борту судна в плавании на реке и на море включает – старший командный состав:

- 1) капитаны;  
– командно-инженерный состав:  
2) помощники капитана (старший, вахтовый);  
3) механики (старший, вахтовый, электромеханик);  
4) радиооператоры (начальник радиостанции при техническом обслуживании радионавигационных приборов);  
5) штурманы (малого и дальнего плавания);  
– палубно-рядовую команду:  
6) матросы (рулевые, мичманы);  
7) мотористы;  
8) боцманы;  
9) коки-стюарды.  
Например,

$$\begin{array}{ll} \text{по проекту "Сормовские"} & \sum_{j=1}^9 K_{3j}^1 = 13, \quad \sum_{j=1}^9 K_{3j}^2 = 15, \\ \text{по проекту "Волго-Балт"} & \sum_{j=1}^9 K_{4j}^1 = 10, \quad \sum_{j=1}^9 K_{4j}^2 = 15, \\ \text{по проекту "559"} & \sum_{j=1}^9 K_{5j}^1 = 8, \quad \sum_{j=1}^9 K_{5j}^2 = 11, \\ \text{по проекту "Ариэль"} & \sum_{j=1}^9 K_{6j}^1 = 10, \quad \sum_{j=1}^9 K_{6j}^2 = 14, \\ \text{по проекту "Волго-Дон"} & \sum_{j=1}^9 K_{7j}^1 = 13, \quad \sum_{j=1}^9 K_{7j}^2 = 15. \end{array}$$

Будем считать, что период моделирования предполагает для  $n$ -го судна  $i$ -го проекта компании  $R_{in}$  рейсов со сроками отправления и прибытия, соответственно,  $t_{inr}^1$  и  $t_{inr}^2$ ,  $t_{inr}^1 < t_{inr}^2$ ,  $r = \overline{1, R_{in}}$ ,  $n = \overline{1, N_i}$ ,  $i = \overline{1, P}$ , где

$$t_{in1}^1 < t_{in1}^2 < t_{in2}^1 < t_{in2}^2 < \dots < t_{inR_{in}}^1 < t_{inR_{in}}^2, \quad n = \overline{1, N_i}, \quad i = \overline{1, P}.$$

Пусть в каждый момент времени  $t$  периода моделирования наступит срок реализации лишь одного события относительно окончательной укомплектации (отправки в очередной рейс) или раскомплектации (по прибытии из рейса) экипажа некоторого судна компании.

Обозначим реальное количество специалистов  $j$ -ой должности на  $n$ -ом судне  $i$ -го проекта в  $r$ -ом рейсе через  $b_{ijnr}^1$ , где  $0 \leq K_{ij}^1 \leq b_{ijnr}^1 \leq K_{ij}^2$ ,  $r = \overline{1, R_{in}}$ ,  $n = \overline{1, N_i}$ ,  $i = \overline{1, P}$ ,  $j = \overline{1, D}$ . В зависимости от известной слож-

ности  $r$ -го рейса и объема загрузки судна будем учитывать три варианта требований к количественному составу экипажа по  $j$ -ой должности, а именно:

$$1) K_{ij}^1 \leq b_{ijnr}^1 \leq K_{ij}^2,$$

$$2) b_{ijnr}^1 = K_{ij}^1,$$

$$3) b_{ijnr}^1 = K_{ij}^2,$$

$$r = \overline{1, R_{in}}, n = \overline{1, N_i}, i = \overline{1, P}, j = \overline{1, D}.$$

По прибытии из  $r$ -го рейса примем известным (достаточно точно спрогнозированным) усредненное распределение экипажа по следующим четырем категориям:

1) желающие (имеющие объективные основания) повысить квалификацию – их часть составляет  $\alpha_{ijnr}^1$  от  $b_{ijnr}^1$ ,

2) увольняющиеся или переходящие на работу в береговые службы компании – их часть составляет  $\alpha_{ijnr}^2$  от  $b_{ijnr}^1$ ,

3) отпускники (на период  $\Delta t_{ijnr}$ ) – их часть составляет  $\alpha_{ijnr}^3$  от  $b_{ijnr}^1$ ,

4) готовые к заключению контрактов на следующие рейсы в компании – их часть составляет  $\alpha_{ijnr}^4$  от  $b_{ijnr}^1$ ,

где  $\alpha_{ijnr}^1 \geq 0, \alpha_{ijnr}^2 \geq 0, \alpha_{ijnr}^3 \geq 0, \alpha_{ijnr}^4 \geq 0,$

$$\alpha_{ijnr}^1 + \alpha_{ijnr}^2 + \alpha_{ijnr}^3 + \alpha_{ijnr}^4 = 1,$$

причем при  $b_{ijnr}^1 = 0$  указанные параметры носят фиктивный характер и вводятся для единообразия записей,  $r = \overline{1, R_{in}}, n = \overline{1, N_i}, i = \overline{1, P}, j = \overline{1, D}$ .

В АСК “Укрречфлот” разработана и успешно реализуется долговременная программа обновления транспортного флота: одни суда выводятся из эксплуатации, а на их место поступают корабли более поздней постройки. В частности, благодаря достижениям НТП новые суда (для Укрречфлота это суда проектов “Буг” и “Десна”) оснащены совершенным оборудованием, средствами механизации и автоматизации, современными более мощными системами автоматизированного управления, а также суперсовременными системами спутниковой связи, телекоммуникациями и глобальными системами, определяющими место нахождения судна в мировом океане. Суда проектов “Буг” и “Десна” являются, по сути, кораблями с расширенным районом плавания.

Технические возможности таких судов предъявляют повышенные требования, прежде всего, к старшему командному и командному составу экипажей судов компании и требуют наличия соответствующих подтвер-

ждающих высокую квалификацию дипломов и сертификатов международного образца. Перечисленные документы имеют ограниченное время действия и обладают узконаправленной специализацией.

Профессиональный рост специалистов на флоте обязательно подкрепляется судоходной практикой. Так, по окончании речного училища лишь отплавав 18 месяцев третьим помощником капитана можно получить диплом штурмана малого плавания. Отплавав еще 6 месяцев вторым помощником капитана в заграничных рейсах и без перерыва 12 месяцев третьим помощником капитана, при наличии положительных характеристик, специалист получает возможность сдать экзамен и подтвердить квалификацию дипломированного штурмана дальнего плавания. Отплавав 18 месяцев в заграничном плавании в должности старшего помощника капитана, при наличии положительных характеристик, специалист с высшим образованием по специальности “судоходство”, свободно владеющий английским языком, может сдать экзамен и получить диплом капитана дальнего плавания.

Неодиночные увольнения по собственному желанию специалистов связаны с объективным снижением привлекательности морской профессии: “грузовые терминалы вынесены за пределы городов, и моряки часто не имеют возможности даже сойти на берег во время стоянки судна в порту; судовые экипажи сокращены; требования повышены; криминализация моряков, особенно капитанов, растет; напряженность труда возросла; усталость экипажа стала проблемой, о которой много пишется, но мало делается... Появилась угроза терроризма, постоянно существующая угроза пиратских нападений – западноевропейцы не хотят свою судьбу связывать с морем, а если и становятся моряками, то рано уходят на береговую работу” [8, с. 27].

Мотивация к профессиональному росту в своей основе носит выраженный материальный характер. Поэтому, отечественные моряки в массовом порядке стремятся на заработки за рубеж, несмотря на то, что “базовая ставка британского матроса А/В (1-го класса) на сухогрузе – 3500-4200\$, а у нашего соотечественника – 870-970\$”, у английских капитанов “жалование в диапазоне 9300-11000\$, нашим же для контраста выписывают только 3460-3660\$”. И это в случае, когда “на долю Украины приходится 10% по командному составу, задействованному в компаниях ЕС, и 6,5% по рядовому составу [9, с. 24-25]”.

Зададим перераспределение повышающих квалификацию специалистов по должностным направлениям параметрами  $\beta_{ijnr}^d$ , определяющими часть экипажа  $r$ -го рейса на  $n$ -ом судне  $i$ -го проекта в  $j$ -ой должности, переходящую в  $d$ -ый должностной разряд,  $d = \overline{1, D}$ ,  $j = \overline{1, D}$ ,  $r = \overline{1, R_{in}}$ ,  $n = \overline{1, N_j}$ ,  $i = \overline{1, P}$ . При этом подразумевается, что

$$\beta_{ijnr}^d \geq 0, d = \overline{1, D}, \beta_{ijnr}^i = 0, \sum_{d=1}^D \beta_{ijnr}^d = \alpha_{ijnr}^1,$$

введенные параметры при  $b_{ijnr}^1 = 0$  носят фиктивный характер, а их положительные значения соответствуют лишь потенциально возможным в данный момент переквалификациям,  $j = \overline{1, D}, r = \overline{1, R_{in}}, n = \overline{1, N_i}, i = \overline{1, P}$ .

Для укомплектации экипажа  $n$ -го судна  $i$ -го проекта в  $(r+1)$ -ый рейс по  $j$ -му должностному составу зададим на момент времени  $t = t_{in(r+1)}^1$  параметры

$\gamma_{ijnr}$  ( $\gamma_{ijnr} \geq 0$ ) – часть экипажа  $r$ -го рейса и команды предыдущих рейсов после выхода из отпуска к моменту  $t_{in(r+1)}^1$ , желающих заключить контракт на  $(r+1)$ -ый рейс  $n$ -го судна  $i$ -го проекта,

$\gamma_{ijnr}^p$  ( $0 \leq \gamma_{ijnr}^p \leq 1$ ) – часть экипажа  $r$ -го рейса и команды предыдущих рейсов после выхода из отпуска к моменту  $t_{in(r+1)}^1$ , желающих заключить контракт на очередной рейс на судне  $p$ -го проекта рассматриваемой компании,  $p = \overline{1, P}, j = \overline{1, D}, r = \overline{0, R_{in} - 1}, n = \overline{1, N_i}, i = \overline{1, P}$ .

Отметим, что перечисленные параметры для последнего рейса можно считать исходными для следующего периода моделирования. Предполагается, что Укрречфлот обладает достаточным резервом специалистов по всем должностям, чтобы вовремя укомплектовывать запланированные рейсы.

Не конкретизируя по паспортным данным судовые роли, при комплектации очередного экипажа целесообразно придерживаться следующей схемы. Предоставим первоочередное право заключения контракта морякам, последнее плавание которых происходило на данном судне. Затем, поддерживая профессиональный рост командного и рядового состава, пусть трудоустраиваются специалисты, повысившие квалификацию. Наконец, предлагаются контракты морякам, вернувшимся из плавания и вышедшим из отпуска по всем грузовым судам компании, а, при необходимости, привлекают специалистов из резерва.

Наиболее адекватным математическим аппаратом моделирования назначения экипажей в крупной судоходной компании с учетом указанных специфических особенностей, как уже отмечалось, является теория сетей Петри. Они позволяют учитывать [7, с.80]

«...– состояние моделируемой системы в зависимости от характеристик и состояний ее компонентов;

– многообразие ситуационных взаимосвязей между элементами исследуемого объекта;

- динаміку поведіння системи под впливом заданного набору подій;
- часові затримки між впливом на систему і її зворотним впливом на неї;
- структурно-функціональні зміни об'єкта дослідження, що стосуються до його елементарного складу, якісними і кількісними характеристиками компонентів, зв'язями між ними;
- позиціонування аналізованої системи в зовнішньому середовищі і процеси, що відбуваються при цьому трансформаційні процеси асиміляції і адаптації».

Розроблена модель складається з двох блоків, пов'язаних з реалізацією комплектації і розкомплектації екіпажу чергового судна. Зміни розмітки мережі Петрі в блоках комплектації екіпажу відбуваються в момент часу  $t = t_{in(r+1)}^1$ , запланований термін виходу в  $(r+1)$ -ий рейс  $n$ -го судна  $i$ -го проекту,  $r = \overline{0, R_{in} - 1}$ ,  $n = \overline{1, N_i}$ ,  $i = \overline{1, P}$ .

В залежності від обсягу завантаження будемо виділяти три варіанти вимог до кількісному складу його екіпажу, які порівняємо з спрацьовуючими переходами  $C_1$ ,  $C_2$  і  $C_3$  (більш детальної індексації переходів для уникнення зайвого ускладнення записів застосовувати не будемо).

Нехай позиційний буфер  $B_{pm}^2$  містить дані про ще не заключені контракти морських плавань на  $m$ -ому судні  $p$ -го проекту в останньому і попередніх рейсах, тобто є  $B_{pm}^2 \sim \{ b_{pjmr}^2, t_{pmr}^2 \}$ ,  $j = \overline{1, D}$ ,  $r = \overline{0, R_{pm} + 1}$ ,

де компоненти  $b_{pjmr}^2, t_{pmr}^2$  описують поки не задіяний екіпаж, зайнятий в рейсах до модельного періоду,  $m = \overline{1, N_p}$ ,  $p = \overline{1, P}$ .

Позиційний буфер  $B^V \sim \{ b_j^V \}$ ,  $j = \overline{1, D}$ ,

має допоміжний характер.

Інформація про кількісний склад комплектуваної команди  $n$ -го судна  $i$ -го проекту накопичується в позиційному буфері

$$B_{in}^1 \sim \{ b_{ijn(r+1)}^1, t_{ijn(r+1)}^1 \}, j = \overline{1, D}, r = \overline{0, R_{in} - 1},$$

причому верхню граничну ємність  $V(b_{ijn(r+1)}^1)$  компоненти  $b_{ijn(r+1)}^1$  будемо уточнювати в залежності від спрацьовування переходів  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $j = \overline{1, D}$ ,  $r = \overline{0, R_{in} - 1}$ ,  $n = \overline{1, N_i}$ ,  $i = \overline{1, P}$ .

Порівняємо позиційний буфер  $B^K$  спеціалістам компанії, підвищивши свою професійно-діяльність кваліфікацію, тобто



$$B^K \sim \{b_j^K\}, j = \overline{1, D}.$$

Резервний персонал компанії зададим позиційним буфером

$$B^R \sim \{b_j^R\}, j = \overline{1, D}.$$

Інформацію об уволівшисься моряках будемо зберігати в позиційному буфері  $B^F \sim \{b_j^F\}, j = \overline{1, D}$ .

В відповідності з предметної специфікою створюваної моделі будемо вважати, якщо не оговорено протилежне, дуги мережі Петрі розмічені єдиничними значеннями, то єсть управляючі буфери моделі  $U$  мають єдиничні ємкості. Крім того, передбачається, що кратне виконання переходів обмежується вмістом їх входних позиційних буферів, часовими параметрами дозволу доступу до їх компонентів, граничною ємкістю вихідних позиційних буферів і підкоряється заданим пріоритетам спрацювання. Якщо не оговорено протилежне, то будемо вважати, що в проіндексованих компонентах  $b$  приведених позиційних буферів не містяться мітки.

На рис. 1 приводиться схема моделювання призначення спеціалістів на судно їх останнього плавання. При заданому варіанті завантаження конкретизуються запусканіє переходи  $C_s$ , виконання котрих по  $j = \overline{1, D}$  підкоряється послідовності обробки управляючих буферів

$$U_{ijn0}^{s1} \rightarrow U_{ijn0}^{s2} \rightarrow U_{ijn0}^{s3} \rightarrow U_{ijn0}^{s4} \rightarrow U_{ijn0}^{s5} \rightarrow U_{ijn0}^{s6} \rightarrow \dots \rightarrow U_{ijn(R_{in}-1)}^{s1} \rightarrow \\ \rightarrow U_{ijn(R_{in}-1)}^{s2} \rightarrow U_{ijn(R_{in}-1)}^{s3} \rightarrow U_{ijn(R_{in}-1)}^{s4} \rightarrow U_{ijn(R_{in}-1)}^{s5} \rightarrow U_{ijn(R_{in}-1)}^{s6}.$$

В випадку спрацювання переходів  $C_1$  або  $C_3$  граничні ємкості компонентів їх вихідних буферів вважаємо рівними  $V(b_{ijn(r+1)}^1) = K_{ij}^2$ ,  $j = \overline{1, D}$ .

Використовуючи доступні до поточного моменту часу  $t$  за параметрами  $t_{inq}^2$  компоненти з  $B_{in}^2$ , управляючі буфери  $U_{ijnq}^{s1}$  і  $U_{ijnq}^{s2}$  з розміткою  $[\gamma_{ijnq} \cdot b_{ijnq}^2]$  поповнюють вміст компоненти  $b_j^V$  позиційного буфера  $B^V$ , де  $[\cdot]$  – операція округлення числа до цілого. За допомогою управляючих буферів  $U_{ijnq}^{s3}$  і  $U_{ijnq}^{s4}$  здійснюється допустима передача міток з  $b_j^V$  в  $b_{ijn(r+1)}^1$ . Потім невикористані мітки з  $b_j^V$  повертаються в  $b_{ijnq}^2$  через буфери  $U_{ijnq}^{s5}$  і  $U_{ijnq}^{s6}$ ,  $q = \overline{0, R_{in}-1}$ .

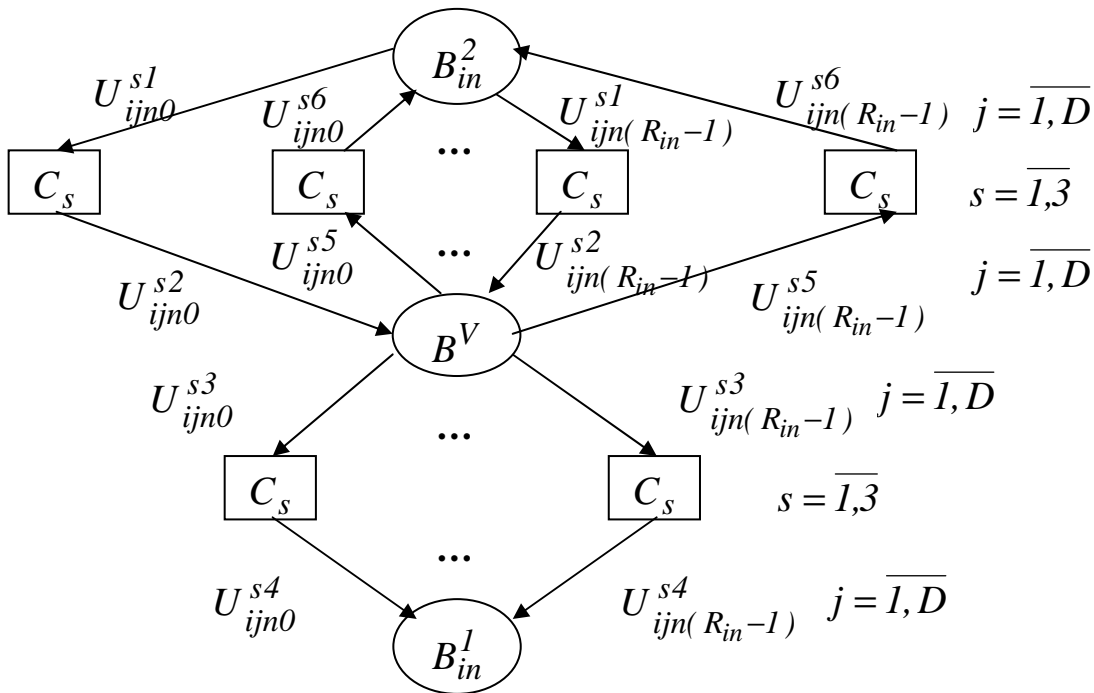


Рис. 1. Фрагмент сети Петри для назначения моряков на судно их последнего плавания

На рис. 2 представлена часть модельной сети Петри, реализующая доукомплектацию отправляемого в рейс судна переквалифицированными специалистами. Граничные емкости компонентов позиционного буфера  $B_{in}^1$  зададим по аналогии с фрагментом на рис. 1. В ходе допустимого кратного срабатывания перехода  $C_s$  по управляющим буферам  $U_{ijn}^{sK1}$  и  $U_{ijn}^{sK2}$  производится передача содержимого из  $b_j^K$  в  $b_{ijn(r+1)}^1$ ,  $j = \overline{1, D}$ .

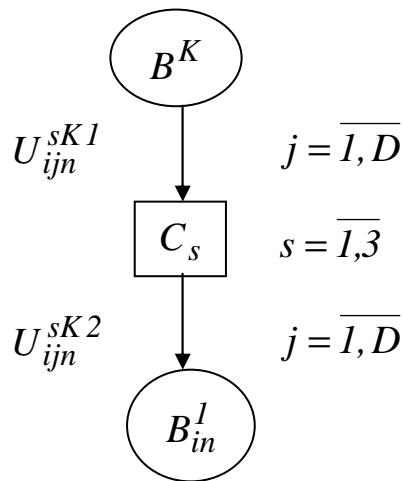


Рис. 2. Фрагмент сети Петри для назначения переквалифицированных моряков

На рис. 3 зображена схема моделювання комплектації екіпажа с изменением судна плавания специалистов, последний рейс которых состоялся на  $m$ -ом судне  $p$ -го проекта,  $m = \overline{1, N_p}$ ,  $p = \overline{1, P}$ ,  $\{p, m\} \neq \{i, n\}$ . Известный вариант загрузки отправляемого в рейс  $n$ -го судна  $i$ -го проекта сопоставляется с запуском переходов  $C_s$  с привлечением управляющих буферов по цепочке

$$U_{pjm0}^{s1} \rightarrow U_{pjm0}^{s2} \rightarrow U_{pjm0}^{s3} \rightarrow U_{pjm0}^{s4} \rightarrow U_{pjm0}^{s5} \rightarrow U_{pjm0}^{s6} \rightarrow \dots \rightarrow U_{pjmR_{pm}}^{s1} \rightarrow \\ \rightarrow U_{pjmR_{pm}}^{s2} \rightarrow U_{pjmR_{pm}}^{s3} \rightarrow U_{pjmR_{pm}}^{s4} \rightarrow U_{pjmR_{pm}}^{s5} \rightarrow U_{pjmR_{pm}}^{s6}$$

для всех  $j = \overline{1, D}$  при описанных ранее граничных емкостях  $V(b_{ijn(r+1)}^1)$  компонентов позиционного буфера  $B_{in}^1$ .

По аналогии с фрагментом сети Петри на рис. 1, используя доступные к текущему моменту времени  $t$  по параметрам  $t_{pjm}^2$  компоненты из  $B_{pm}^2$ , управляющие буферы  $U_{pjm}^{s1}$  и  $U_{pjm}^{s2}$  с разметкой  $[\gamma_{pjm}^i \cdot b_{pjm}^2]$  поолняют содержимое компоненты  $b_j^V$  позиционного буфера  $B^V$ . Управляющие буферы  $U_{pjm}^{s3}$  и  $U_{pjm}^{s4}$  привлекаются для допустимой кратной передачи фишек из  $b_j^V$  в  $b_{ijn(r+1)}^1$ , после чего остатки маркеров из  $b_j^V$  возвращаются в  $b_{pjm}^2$  посредством управляющих буферов  $U_{pjm}^{s5}$  и  $U_{pjm}^{s6}$ ,  $q = \overline{0, R_{pm}}$ .

На рис. 4 приводится модельная реализация завершения комплектації екіпажа  $(r+1)$ -го рейса  $n$ -го судна  $i$ -го проекта из резерва персонала компании. Учитывая параметры допустимого кратного срабатывания перехода  $C_s$ , осуществляется пополнение содержимого компоненты  $b_{ijn(r+1)}^1$  фишками из  $b_j^R$  с помощью управляющих буферов  $U_{ijn}^{sR1}$  и  $U_{ijn}^{sR2}$ ,  $j = \overline{1, D}$ .

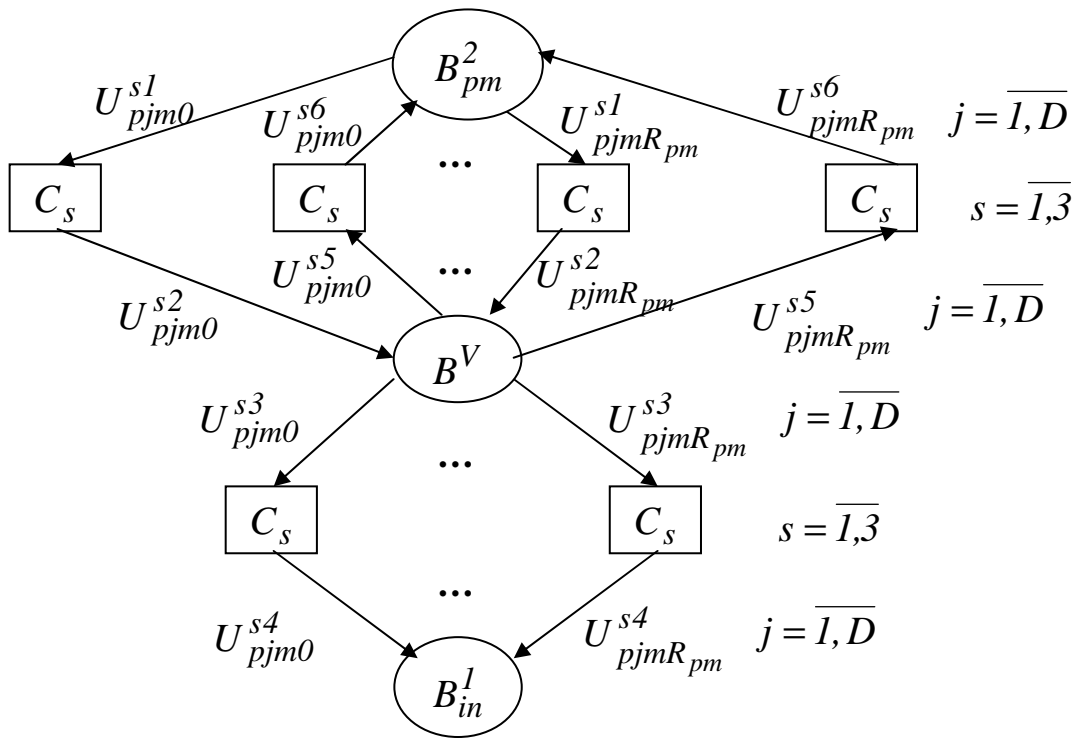


Рис. 3. Фрагмент сети Петри для назначения моряков с изменением судна плавания

Будем ассоциировать возвращение  $n$ -го судна  $i$ -го проекта из  $r$ -го рейса и раскомплектацию его экипажа в момент времени  $t = t_{inr}^2$  с реализацией события  $C_4$ , дополнительную индексацию которого во избежание излишнего усложнения записей применять не будем,  $r = \overline{1, R_{in}}$ ,  $n = \overline{1, N_i}$ ,  $i = \overline{1, P}$ . В соответствии со схемой на рис. 5, перераспределение маркеров

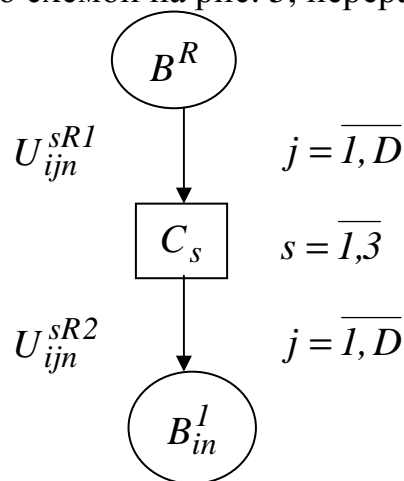


Рис. 4. Фрагмент сети Петри для укомплектования экипажа персоналом из резервного состава

из компонентів  $b_{ijnr}^1$  в  $b_d^K$  реалізують управляючі буфери  $U_{ijnr}^{Kd1}$  і  $U_{ijnr}^{Kd2}$ , розмічені вираженням  $[\alpha_{ijnr}^1 \cdot \beta_{ijnr}^d \cdot b_{ijnr}^1]$ ,  $d = \overline{1, D}$ ,  $j = \overline{1, D}$ .

На рис. 6 представлена частина мережі Петрі, моделююча завершення розкомплектації команди, вернувшійся з чергового рейса. Частина екіпажа, не бажаючи продовжити співпрацю з судоходною компанією, звільняється. В результаті маркери з компоненти  $b_{ijnr}^1$  поступають в компоненту  $b_j^F$  за допомогою управляючих буферів  $U_{ijnr}^1$  і  $U_{ijnr}^2$  з розміткою  $[\alpha_{ijnr}^2 \cdot b_{ijnr}^1]$ .

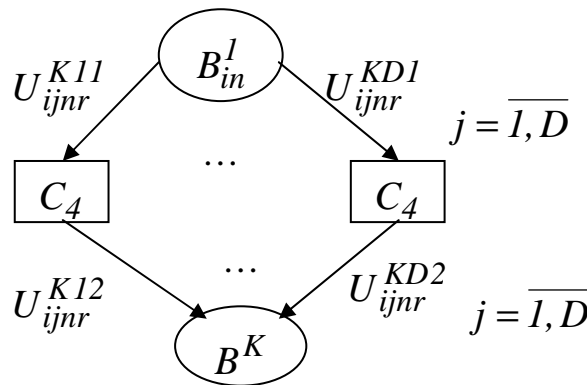


Рис. 5. Фрагмент мережі Петрі для напрямлення моряків на підвищення кваліфікації

Частина команди відправляється в відпустку, що відобразиться в пересылке фішек з компоненти  $b_{ijnr}^1$  в компоненту  $b_{ijn\tilde{r}}^2$  при допомозі управляючих буферів  $U_{ijnr}^3$  і  $U_{ijnr}^4$  з розміткою  $[\alpha_{ijnr}^3 \cdot b_{ijnr}^1]$ , де номер рейса  $\tilde{r}$ , соотнесений з виходом моряків з відпустки, вибирається з умови

$$t_{in(\tilde{r}-1)}^2 \leq t_{inr}^2 + \Delta t_{ijnr} \leq t_{in\tilde{r}}^2, \tilde{r} \in \{1, \dots, R_{in} + 1\},$$

причем  $(R_{in} + 1)$ -ий рейс вважається приналежачим к наступному моделюваному періоду і

$$t_{in(R_{in} + 1)}^2 = t_{inR_{in}}^2 + \max_{\substack{q = \overline{1, R_{in}}, \\ j = \overline{1, D}}} \Delta t_{ijnq}$$

Данні про спеціалістах, готових к заключению контракта на наступні рейси в різних проектах розглядаваної судоходної компанії, зберігаються в вигляді маркерів, перенаправлених з компоненти  $b_{ijnr}^1$

в  $b_{ijnr}^2$  при помощи управляющих буферов  $U_{ijnr}^5$  и  $U_{ijnr}^6$  с разметкой  $[\alpha_{ijnr}^4 \cdot b_{ijnr}^1]$ .

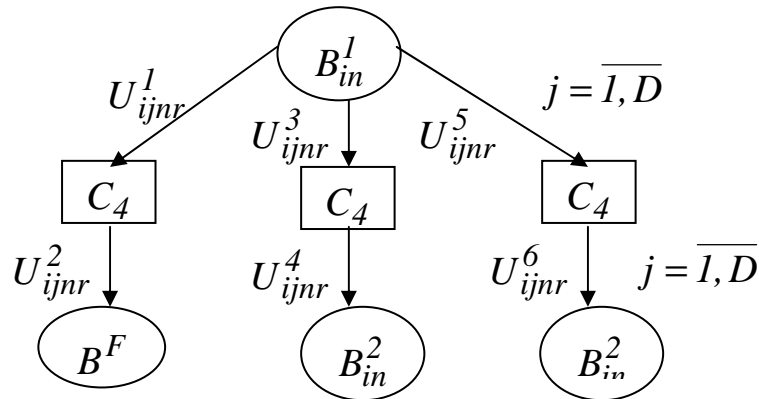


Рис. 6. Фрагмент сети Петри для завершения раскомплектации экипажа очередного рейса

### Выводы и предложения

Применение описанной сетевой модели к решению вопроса об оперативном назначении моряков на конкретное судно и конкретный рейс позволяет осуществлять мониторинг повышения квалификации и увольнения моряков; варьируя значения параметров  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ ; учитывать мотивационный аспект комплектования и разукрупнения экипажа; анализировать интенсивность рейсов: по отдельным судам; по проектам; и в целом по Укрречфлоту на конкретную дату, учитывая объемы обслуживаемого транспортного грузопотока. Принятый уровень детализации проблемы поддерживает относительно безрисковую малозатратную динамическую отработку вариантов конкретных решений и позволяет вносить конструктивные изменения по структурным и функциональным характеристикам модели, как на этапе ее разработки, так и в ходе практического использования.

### Литература

1. Білорус О., Мацейко Ю. Конкурентоспроможність у сучасному глобальному світі // Економічний часопис. – К.: №9, 2002. – С.7-12.
2. Укрречфлот: путь поиска, реформ и преобразований /авт. кол. Под руководством Н.А. Славова. – К.: Наукова думка, 1996. – 298с.
3. Славов Н.А. Методология реорганизации водного транспорта Украины в рыночных условиях. – К.: Наукова думка, 2001. – 333с.
4. Підлісний П.І. Ефективність управлінських рішень подальшого реформування водного транспорту України. – К.: Наук. думка, 2003. – 343 с.

- 
5. Бакаев А.А., Запатрина И.В. Вопросы моделирования систем и использованием сетей Петри. – Киев: ИК АН УССР, 1982. – 46с. /АН УССР. Ин-т кибернетики; Препринт 32-60/.
  6. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264с.
  7. Бакаев Л.А. Математические методы и модели исследования экономических систем. – К.: Логос, 2005. – 252с.
  8. Лапин А.Д. Должность капитана стала опасной. – Судоходство. – 2006. – № 6. – С. 26-27.
  9. Каткевич В. Крюинг смуглеет? – Судоходство. – 2006. – № 5. – С. 24-25.