

## ТРАНСПОРТ ТА ЛОГІСТИКА

УДК 656.615

© Лысий А.А.\*

### МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРЕНД-СЕЗОННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ СУДОХОДСТВА В АЗОВСКОМ МОРЕ

*В статье обоснована необходимость использования в управлении производственной деятельностью морских портов анализа и прогнозирования тренд-сезонных процессов. Приведены статистические данные, показывающие существенное уменьшение грузооборот портов Азовского моря в период ледовой обстановки. Дано определение понятия фактора сезонности, под которым понимается регулярное периодическое наступление определенных погодных условий, связанных со сменой времени года. Подчеркивается, что сезонность выражается в виде колебательных процессов, которые описываются в экономико-математических исследованиях индексами и коэффициентами сезонности. Разработан специальный подход к формированию информационной базы, учитывающий разнообразные формы производственной деятельностью порта в условиях ледовой обстановки, удовлетворяющий требованиям непрерывного планирования и регулирования работы порта. Предложен и усовершенствован аппарат статистического прогнозирования, включающий все стадии обработки динамических рядов: анализ сезонных процессов, прогнозирование сезонной волны и построение доверительных интервалов.*

**Ключевые слова:** ледовая обстановка, судоходство, сезонные колебания, информационная база, прогнозирование, индексы сезонности, колебание грузового оборота.

*Лысий А.О. Методологічні основи аналізу й прогнозування тренд-сезонних коливань при забезпеченні судноплавства в Азовському морі. У статті обґрунтована необхідність використання в управлінні виробничою діяльністю морських портів аналізу й прогнозування тренд-сезонних процесів. Наведені статистичні дані, що показують істотне зменшення вантажообігу портів Азовського моря у період льодової обстановки. Дано визначення поняття фактору сезонності, під яким розуміється регулярне періодичне настання певних погодних умов, пов'язаних зі зміною пори року. Підкреслюється, що сезонність виражається у вигляді коливальних процесів, які описуються в економіко-математичних дослідженнях індексами й коефіцієнтами сезонності. Розроблений спеціальний підхід до формування інформаційної бази, що враховує різноманітні форми виробничої діяльності порту в умовах льодової обстановки, що задовольняє вимогам безперервного планування й регулювання роботи порту. Запропонований і вдосконалений апарат статистичного прогнозування, що включає всі стадії обробки динамічних рядів: аналіз сезонних процесів, прогнозування сезонної хвилі й побудову довірчих інтервалів.*

**Ключові слова:** льодова обстановка, судноплавство, сезонні коливання, інформаційна база, прогнозування, індекси сезонності, коливання вантажообігу.

*A.O. Lysiy. Methodological basis of the analysis and forecasting of trend-seasonal fluctuations in navigation maintenance in the sea of Azov. The necessity to use trend-seasonal processes analysis and forecasting to manage seaports activities have been shown in the article. The statistic data showing the sea of Azov ports freight turnover essential reduction in ice conditions is cited. The cited data has shown that in ice conditions the Azov sea ports freight turnover reduces considerably; in case of poor weather condi-*

\* канд. техн. наук, Азовский морской институт ОНМА, г. Мариуполь, [anlis@ami.edu.ua](mailto:anlis@ami.edu.ua)

*tions and storm warnings the vessels arriving at ports can't be loaded and unloaded in time. The concept of seasonal prevalence which is understood as regular periodical changes in weather conditions resulting from season change has been defined. Seasonal fluctuations are rather complicated -they are generated in one navigation area, transmitted to others, transformed and keep moving on calling forth subsequent fluctuations and interfering with sea transportation. From the point of view of this analysis seasonal prevalence is expressed in the form of oscillatory processes. In statistical researches seasonal prevalence indices and factors are used to describe seasonal fluctuations. Various models forecasting seasonal time series have been studied. A special approach to forming the information base and, considering all the activities of the port in the ice conditions, meeting the demands of continuous planning and regulation has been developed. Statistical forecasting including all stages of dynamic series processing has been offered and improved: the analysis of seasonal processes and forecasting of a seasonal wave. Such approach to forecasting can be applied to a wide range of the problems concerning the scheduling of fleet and ports.*

**Keywords:** *ice conditions, navigation, seasonal fluctuations, information base, forecasting, seasonal prevalence indices, fluctuation of cargo turnover.*

**Постановка проблеми.** Повышение эффективности работы портов Азовского моря является актуальной задачей не только для отдельных предприятий, но и для экономики страны в целом. Снижение грузооборота портов, связанные с сезонными колебаниями, необходимо учитывать в их производственной деятельности, поэтому выработка методического инструментария прогнозирования этих процессов, а также задача формирования соответствующей информационной статистической базы для принятия решений являются весьма актуальными.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вопросами определения и учета влияния сезонных колебаний на производственную деятельность портов и судоходство занимались многие отечественные ученые: Голиков В.В., Репетей В.Д., Лысый А.Ф., Леонтьев И.В. и др. Однако в виду того, что фактор сезонности носит стохастический характер и характеризуется рядом особенностей, исследования в этой области продолжаются.

**Целью статьи** является разработка методических основ анализа и прогнозирования тренд-сезонных колебаний при обеспечении судоходства в Азовском море.

**Изложение основного материала.** Задачи управления судоходством в Азовском море можно подразделить на две группы.

Первая – это задачи, возникающие при текущем управлении и оперативном планировании, вторая группа – задачи, возникающие при планировании комплекса работ в условиях введения ледовой обстановки.

Решение данных задач связано с выбором входных параметров, имеющих статистический или стохастический характер, обусловленный влиянием фактора сезонности.

Под фактором сезонности понимается регулярное периодичное наступление определенных погодных условий, связанных со сменой времени года. Порты Азовского моря с приходом зимы в большинстве случаев переходят на режим «ледовой» обстановки, где предпринимаются комплексные меры для достижения оптимальных показателей по грузопереработке параллельно с обеспечением безопасности мореплавания.

Влияние сезонности особенно сказывается на работе морского транспорта, где в значительной степени просматривается зависимости от этих условий.

При рассмотрении динамики легко обнаружить повторяющиеся подъемы и спады уровней объемов грузопереработке в зависимости от сезона морских перевозок.

Сезонность, рассматриваемая отвлеченно, кажется достаточно простым явлением. Очевиден и этот циклический механизм, который формирует сезонные колебания, - ежегодно повторяющиеся изменения природно-климатических условий [1]. Но если это справедливо для отраслей, прямо испытывающих влияние циклических изменений природно-климатических условий, то для предприятий морского транспорта условия «ледовой» обстановки связаны со значительными усилиями по стабилизации грузооборота и направлении дополнительных финансовых и технических ресурсов (ледокольного и вспомогательного флота) [2].

В табл. 1 и табл. 2 приведена динамика грузооборота основных портов Азовского моря –

Мариупольского и Бердянского – за период 2010-2013гг. (в 2014 г. из-за положительных температурных показателей «ледовая» обстановка не вводилась).

Таблица 1

Динамика провозок судов в порты Азовского моря  
в период ледовой обстановки (2010 – 2013 гг.)

| Год  | Заведено ледоколом<br>(кол-во судов) |      |       |      | Выведено ледоколом (кол-во<br>судов) |      |       |      | Потери време-<br>ни погруз-<br>ки/выгрузки из-<br>за погодных<br>условий (сут) |
|------|--------------------------------------|------|-------|------|--------------------------------------|------|-------|------|--|
|      | дек.                                 | янв. | февр. | март | дек.                                 | янв. | февр. | март |  |
| 2010 | -                                    | 48   | 73    | 62   | 44                                   | 65   | 70    | 64   | 230  |
| 2011 | -                                    | 45   | 72    | 68   | 44                                   | 68   | 72    | 38   | 232  |
| 2012 | 32                                   | 54   | 70    | 63   | 30                                   | 58   | 67    | 60   | 245  |
| 2013 | -                                    | 48   | 74    | 42   | -                                    | 46   | 78    | 36   | 216  |

Таблица 2

Динамика движения судов в портах Азовского моря  
вне периода ледовой обстановки (2010 – 2013 гг.)

| Год  | Количество судозаходов за месяц |     |      |      |      |       |      |        | Потери време-<br>ни погруз-<br>ки/выгрузки из-<br>за погодных<br>условий (сут) |
|------|---------------------------------|-----|------|------|------|-------|------|--------|--|
|      | апрель                          | май | июнь | июль | авг. | сент. | окт. | ноябрь |  |
| 2010 | 272                             | 274 | 204  | 240  | 252  | 248   | 265  | 270    | 140,8  |
| 2011 | 263                             | 270 | 282  | 278  | 268  | 280   | 275  | 276    | 96,4   |
| 2012 | 296                             | 278 | 283  | 292  | 288  | 275   | 278  | 282    | 132,1  |
| 2013 | 256                             | 278 | 283  | 278  | 243  | 235   | 220  | 229    | 126,4  |

Приведенные выше данные показывают, что в период ледовой обстановки существенно уменьшается грузооборот портов Азовского моря, а в результате неблагоприятных погодных условий и штормовых предупреждений прибывшие в порты суда задерживаются с их погрузкой – выгрузкой.

В целом работа портов происходит в условиях сложных переплетений хозяйственных связей между различными отраслями экономики нашего государства и экономики зарубежных стран. Сезонные колебания в этом случае имеют более сложный характер – генерируются в одном районе плавания, передаются в другие, преобразовываются и вновь продолжают движение, возбуждают в последующих звеньях цикла морского транспорта соответствующие колебания.

Однако с точки зрения анализа независимо от степени воздействия внешних и внутренних факторов сезонность выражается в виде колебательных процессов.

В экономико-математических исследованиях для описания сезонных колебаний широко используются индексы и коэффициенты сезонности.

Индекс сезонности:

$$I_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{y_{ij}}{u_{ij}} \cdot 100\%, \quad j = \overline{1, T_o}, \quad (1)$$

где  $y_{ij}$  – значения исходного сезонного временного ряда;

$m$  – число лет, представленных в анализируемом временном ряду;

$T_o$  – период сезонных колебаний ( $T_o = 4$ , если исходные данные квартальные,

$T_o = 12$ , если исходные данные месячные);

$u_{ij}$  – тренд исходного сезонного временного ряда.

По значению индекса сезонности можно судить о степени отклонения уровня сезонного вре-

менного ряда от тренда или, иначе говоря, степени его колеблемости в  $j$ -м месяце или квартале относительно 100%. Если сезонные колебания отсутствуют, то  $y_{ij} = u_{ij}$  и, следовательно,  $I_j = 100\%$ .

Индексы сезонности дают представление о некоторой средней волне за  $m$  лет, которое будет близким к действительности, если не изменяется фаза сезонной волны, а амплитуда ее изменяется пропорционально изменениям тренда. Если же рассматриваемый тренд-сезонный временной ряд имеет переменную структуру, то индексы сезонности, как правило, не соответствуют действительности.

В дальнейшем будем рассматривать временные ряды  $\{y_t\}$ , порождаемые аддитивным случайным процессом объема грузопереработки:

$$y_t = u_t + v_t + \varepsilon(t), \quad t = \overline{1, T}, \quad (2)$$

где  $u_t$  – основной показатель цикла (тренд ряда);

$v_t$  – регулярные сезонные изменения с периодом;

$\varepsilon(t)$  – остаточные отклонения, отражающие случайные колебания.

Относительно значения  $T_o$  предполагается, что оно нацело делит  $T (T = mT_o)$ , что вполне приемлемо работе морского порта. Тогда (2) можно представить в матричном виде:

$$y_{ij} = u_{ij} + v_{ij} + \varepsilon_{ij}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, T_o}. \quad (3)$$

Коэффициент сезонности – другая интегральная характеристика, которая в какой-то степени компенсирует недостатки применения индексов сезонности.

Коэффициент сезонности:

$$S_i = \frac{\sum_{j=1}^{T_o} (u_{ij} + v_{ij})^\nabla}{\sum_{i=1}^{T_o} (u_{ij} + v_{ij})^\Delta} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где  $(u_{ij} + v_{ij})^\Delta$  – ординаты огибающей, проходящей через точки максимума тренд-сезонного сглаженного временного ряда, причем

$$(u_{ij} + v_{ij})^\Delta = (u_{ij} + v_{ij})^\Delta - (u_{ij} + v_{ij}), \quad (5)$$

$$y_{ij}^\nabla = y_{ij}^\Delta - \hat{y}_{ij}, \quad \hat{y}_{ij} = u_{ij} + v_{ij}. \quad (6)$$

В (6)  $\hat{y}_{ij}$  – сглаженные значения тренд-сезонного временного ряда.

На рисунке изображена иллюстрация к расчету коэффициента  $S_i$ . Значению числителя в (4) соответствует площадь фигуры ABCDE, а знаменателя – площадь фигуры MBCN.

Коэффициент сезонности характеризует удельный вес сезонных колебаний объемов грузопереработки по отношению к общему уровню процесса  $y_{ij}^\nabla$ .

В коэффициенте сезонности динамика сезонной волны оказывается завуалированной динамикой тренда. Этот недостаток устраняется введением так называемого коэффициента напряженности сезонной волны:

$$K_i = \frac{\sum_{j=1}^{T_o} y_{ij}^\nabla}{\sum_{j=1}^{T_o} y_{i_o, j}^\Delta} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где  $i_o$  – базовый год, как правило,  $i_o = 1$ .

Интегральный коэффициент напряженности сезонной волны позволяет анализировать динамику сезонной волны безотносительно к уровню временного ряда.

Параллельно с коэффициентом  $S_i$  и  $K_i$  употребляется коэффициент роста процесса  $G_i$ :

$$G_i = \frac{\sum_{j=1}^{T_o} y_{ij}^{\nabla}}{\sum_{j=1}^{T_o} y_{i,j}^{\Delta}} \cdot 100\% . \quad (8)$$

Показано, что этот коэффициент является производным от  $S_i$  и  $K_i$ :

$$G_i = \frac{S_{i_0}}{S_i} K_i . \quad (9)$$

Введенные коэффициенты  $S_i$ ,  $K_i$  и  $G_i$  дают объективные оценки уровня сезонных колебаний, позволяют производить анализ динамики и сезонной волны в целом тренд-сезонного временного ряда.

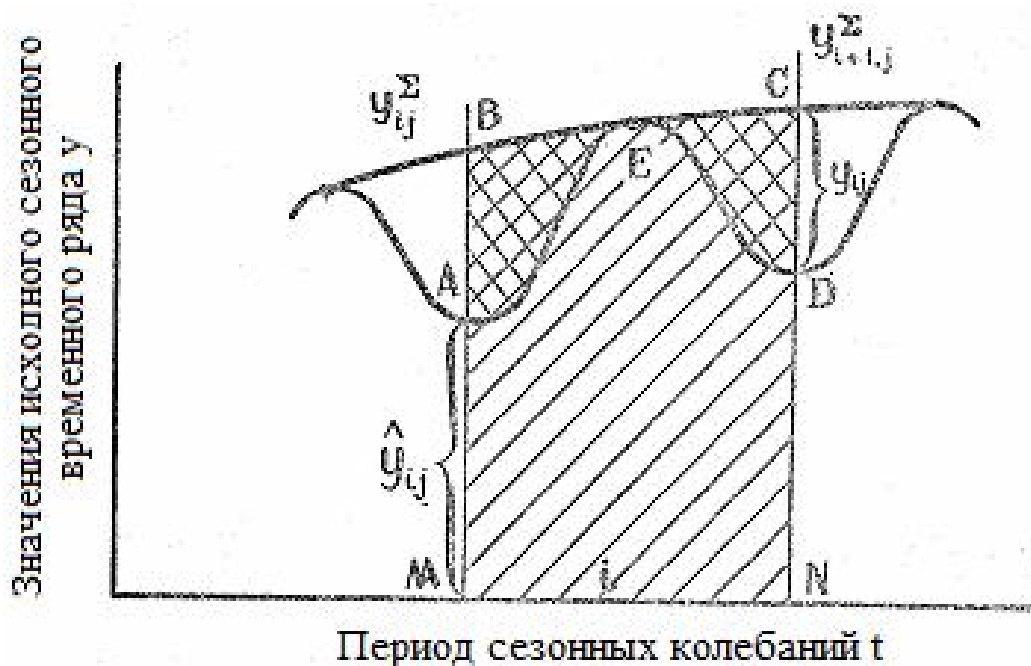


Рисунок – К расчету коэффициента сезонности

Описание процедуры составляют основу анализа временных рядов, характеризующих грузопереработку порта с учетом сезонности спроса, и в вычислительном отношении не представляет трудностей [1].

На практике задача прогнозирования решается чаще всего в упрощенном виде. Предполагается, что в будущем будут продолжать действовать те же законы, по которым до сих пор проходило развитие исследуемого процесса. В таком случае вопрос сводится лишь к выбору лучшей из многих возможных экстраполяционных моделей.

Различают два вида моделей прогнозирования сезонных временных рядов: аддитивные и мультипликативные. В аддитивной модели отдельно прогнозируются тренд и сезонная компонента, а затем уже определяются прогнозные оценки собственно тренд-сезонного временного ряда.

$$\hat{y}_t(t) = \hat{u}_t(t) + \hat{v}_t(t), \quad t = \overline{1, L}, \quad (10)$$

где  $L$  – период упреждения (предсказания);

$\hat{y}_t$  – прогнозная оценка величины.

Функция  $f(t)$ , по которой прогнозируется тренд, выбирается *a priori*, если есть основания утверждать, что процесс развивается именно по такому закону  $f(t)$ . Нередко выбор  $f(t)$  осуще-

ствляється на целом множестве функций: полном, логистическая кривая, кривая Гомперца и т.д.

Критерий выбора той или иной функции, например, минимум остаточной среднеквадратической ошибки:

$$M[\hat{y}_t(t) - y_{t+i}]^2 \rightarrow \min, \\ t = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm L_o, \quad L_o < L$$

Может быть применен и любой другой критерий, удовлетворяющий исходным требованиям. Часто, например, используются полиномиальные приближения к функции

$$f(t) = \sum_{j=0}^n a_j \cdot t^j, \quad (11)$$

если они достигаются при небольших степенях  $n$ .

Аппроксимация сезонной волны может быть проведена в виде отрезка ряда Фурье

$$f(t) = a_o + \sum_{i=1}^{T_o/2} [a_i \cdot \cos \omega_i t + b_i \sin \omega_i t]. \quad (12)$$

В мультипликативных моделях предполагается, что сезонный эффект умножается, то есть

$$y_{ij} = I \cdot v_{ij} + \varepsilon_{ij}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, T_o}, \quad (13)$$

где  $I_j$  – индекс сезонности.

В пользу применения аддитивных моделей для прогнозирования сезонных процессов говорит и их простота. При автоматизации расчетов на ПЭВМ простота моделей желательна, но, естественно, не является решающей, если только затраты времени не превосходят допустимые границы. Однако в данном случае необходимо отметить, что одна из наиболее эффективных мультипликативных моделей, модель Бокса-Дженкинса, отмечается очень низкими возможностями автоматизации процесса решения на ПЭВМ, поскольку требует на каждом этапе участия квалифицированного эксперта по исследуемой проблеме.

Сказанное выше и определило тот факт, что для получения прогнозных оценок сезонных процессов с использованием ПЭВМ широко используются аддитивные модели.

Потенциальная аддитивная модель, в которой тренд прогнозируется по полиномиальной функции, а сезонная компонента по отрезку ряда Фурье, дает некую усредненную сезонную волну с постоянной фазой и постоянной в каждом месяце амплитудой. Этот недостаток модели может быть устранен за счет учета в функции  $f(t)$  динамических эффектов, что достигается введением либо взвешенного суммирования по степеням параметра  $t$ :

$$f(t) = \sum_{i=0}^K \psi_i(t) \cdot t^i,$$

где

$$\psi_i(t) = \sum_{j=0}^{T_o/2} [\alpha_{ij} \cos \omega_j t + \beta_{ij} \sin \omega_j t],$$

либо заменой статических коэффициентов Фурье в (12)  $a_o, a_i, b_i$  коэффициентами – функциями параметра  $t: a_o(t), a_i(t), b_i(t), i = \overline{1, T_o/2}$ .

Во втором подходе, на котором мы остановимся более подробно, расчет неизвестных коэффициентов Фурье производится с использованием всех доступных к данному моменту времени значений остаточной компоненты  $t_i = y_t - u_t$ . При этом промежуток времени разбивается на  $K$  равных частей:

$$[1, t] = [1, T_1] \cup [T_1 + 1, T_2] \cup \dots \cup [T_{K-1} + 1, T_K], \\ T_i - T_{i-1} = T / K, \quad i = \overline{1, 2, \dots, K}, \quad T_o = 0.$$

На каждом отрезке  $[T_{i-1} + 1, T_i]$  определяются коэффициенты функции  $f(t)$ , аппроксимирующей  $t_i$ . В результате этого получается матрица коэффициентов:

$$A_B = \begin{pmatrix} a_0^1 & a_1^1 & \dots & a_{T_o/2}^1 b_1^1 & \dots & b_{T_o/2-1}^1 \\ a_0^2 & a_1^2 & \dots & a_{T_o/2}^2 b_1^2 & \dots & b_{T_o/2-1}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_0^K & a_1^K & \dots & a_{T_o/2}^K b_1^K & \dots & b_{T_o/2-1}^K \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Рассматривая каждый столбец в (14) как выборку случайных величин  $a_o, a_i, b_i, i = \overline{1, T_o/2}$ , можно поставить вопрос о построении уравнения регрессии  $Z_{it} = f_i(t), t = \overline{1, K}, i = \overline{1, 12}$  (по числу столбцов матрицы).

На основании известных допущений можно принять

$$Z_i = C_o + C_1 t, \quad t = \overline{1, K}. \quad (15)$$

Теперь динамическое обобщение модели (12) имеет вид:

$$\hat{v}_i(t) = f(t+i) = a_o(\tau) + \sum_{i=1}^{T_o/2} \{a_i(\tau) \cos \omega_i(t+i) + b_i(\tau) \sin \omega_i(t+i)\},$$

где

$$\tau = \left[ \frac{T+t-T_o}{K T_o} \right] + 1.$$

Для получения определенных значений функции спроса  $y_t$  необходимо осуществить оценку отдельных ее компонент  $u_t, v_t, \varepsilon_t$ .

Характер и величина базисной функции  $u_t$  (тенденции) наиболее просто выявляются расчетом скользящей средней  $\varphi_t^*$  (например по 12 месяцев):

$$\varphi_t^* = \frac{\varphi_{(t-6)} + 2[\varphi_{(t-5)} + \dots + \varphi_{(t+5)}] + \varphi_{(t+6)}}{24}, \quad (16)$$

для  $t = 7, 8, \dots, (n-6)$ .

Характер и размеры суммарной амплитуды спроса в целом должны представлять собой разность наблюдаемых показателей и скользящей средней:

$$\psi_t = \varphi_t - \varphi_t^*. \quad (17)$$

Поскольку функция  $u_t$  может быть аппроксимирована линейной функцией за 12-месячный период, то можно считать, что  $u_t \approx \varphi_t^*$ .

Производя замену в выражении (17), получаем уравнение:

$$\psi_t = v_t - \varepsilon_t. \quad (18)$$

В свою очередь  $v_t$  отражает влияние двух функций, из которых одна характеризует структуру сезонности, в данном случае ее 12-месячную периодичность  $\mu$ , а вторая интенсивность сезонных колебаний внутри месяца  $\gamma$ , где

$$\mu_{iK} = \frac{\sum_{j=K-6}^{K+5} \psi(i, j) \cdot \gamma(j)}{\sum_{i=1}^{12} [\gamma(i)]^2}, \quad (19)$$

$$\gamma(K) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \psi(i, K), \quad \left( m = \frac{n}{12} - 1 \right), \quad (20)$$

где  $n$  – число месяцев рассматриваемого периода. Тогда по отношению к рассматриваемому периоду  $i$ -му году,  $k$ -му месяцу  $v_t$  представляет

$$\nu(i, K) = \gamma(K) \cdot \mu(i, K) \quad (21)$$

или подставляя (19) в (21) получим:

$$\nu(i, K) = \gamma(K) \frac{\sum_{j=K-6}^{K+5} \psi(i, j) \cdot \gamma(j)}{\sum_{t=1}^{12} [\gamma(t)]^2} \quad (22)$$

Имея характеристики  $u_t$  и  $\nu_t$  можно установить и показатели случайных колебаний спроса:

$$\varepsilon_t = y_t - u_t - \nu_t \quad (23)$$

или

$$\varepsilon_t = \psi_t - \nu_t. \quad (24)$$

Прогнозные показатели сезонности в большинстве случаев имеют определенные отклонения от статистических данных по объемам грузопереработки. Поэтому одной из важнейших проблем является обеспечение устойчивости полученных характеристик, оценка возможных границ их отклонения. Иначе говоря, возникает необходимость в определении доверительного интервала как для  $\nu_t$ , так и для  $\varepsilon_t$ .

Поскольку параметры сезонной волны отражают поведение переменных  $\gamma$  и  $\mu$ , то при построении доверительного интервала для  $\nu_t$  учтена необходимость оценки интервала для обеих переменных.

При этом общий доверительный интервал для  $\nu(i, j)$  характеризуется выражением

$$\begin{aligned} \nu''(i, j) &= (\gamma(i, j) + \sigma_1 \cdot t\beta_1)(\mu(i, j) + \sigma_2 t\beta_2) < \\ < \nu'(i, j) < (\gamma(i, j) - \sigma_1 \cdot t\beta_1)(\mu(i, j) - \sigma_2 t\beta_2) \end{aligned} \quad (25)$$

где  $\nu'(i, j)$  и  $\nu''(i, j)$  – границы доверительного интервала для сезонных колебаний;  $\beta$  – степень вероятности, обеспечивающая практическую достоверность события (например, 0,9);  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  – выборочное среднеквадратическое отклонение случайных колебаний;  $t_\beta$  – показатели по таблицам Стьюдента при данном цикле степеней свободы  $n - I$  и данной  $\beta$ .

Что касается определения доверительного интервала для случайных колебаний, то оценка тесноты связей соседних членов ряда, проведенных с помощью метода автокорреляции, показала, что связь эта очень мала.

В большинстве исследований сезонных процессов предполагается, что случайные колебания имеют гауссовское распределение.

Соответственно, для построения доверительного интервала случайных нерегулярных колебаний можно использовать правило трех сигм. Следовательно, общий доверительный интервал  $\varphi_\beta$ , включающий все рассмотренные выше колебания, отвечают выражению

$$\varphi_\beta = (\nu'_{ij} + 3\sigma, \nu'_{ij} - 3\sigma). \quad (26)$$

Обобщая приведенные результаты, можно сделать вывод, что задача прогнозирования сезонных колебаний грузооборота порта решается в два этапа: анализ сезонных процессов (расчет уровня сезонных колебаний, анализ их динамики) и прогнозирования сезонных процессов [3].

Рассмотрим основные этапы анализа и прогнозирования сезонных колебаний грузооборота порта.

1. Выявление наличия сезонных колебаний.

$$l_{ij} = y_{ij} - u_{ij};$$

$$F = m \frac{(T - T_0) \sum_{j=1}^{T_0} \left[ \sum_{i=1}^m l_{ij} / m - \sum_{ij} l_{ij} / T \right]}{(T_0 - 1) \sum_{j=1}^{T_0} \sum_{i=1}^m \left[ l_{ij} - \sum_{i=1}^m l_{ij} / m \right]},$$



здесь  $u_{ij} = y_{ij} - \hat{u}_{ij}$  – остаточная компонента после выделения тренда  $u_{ij}$ .

Величина  $F$  имеет  $F$ -распределение с  $(T_0 - 1)$  и  $(T_0 - m)$  степенями свободы. Сезонные колебания в исходном временном ряду подтверждаются, если  $F_{расч} > F_{крит}$  при заданной доверительной вероятности.

2. Фильтрация компонент временного ряда.

Выполняется в несколько процедур. Первая – выделение тренда:

$$u_t = \sum_{\tau=-T_0/2}^{T_0/2} \alpha_\tau \cdot y_{t+\tau},$$

где

$$\alpha_\tau = \begin{cases} 1/T_0, & |\tau - 1| < T_0/2 \\ 1/2T_0, & |\tau| = T_0/2 \end{cases}.$$

Второй процедурой производится сглаживание сезонного временного ряда и выделение сезонной компоненты:

$$\hat{y}_{ij} = a_j + b_j \cdot \hat{u}_{ij}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, T_0},$$

где  $\hat{y}_{ij}$  – сглаженная оценка. Коэффициенты  $a_j, b_j$  определяется по формулам:

$$a_j = \frac{\sum_{i=1}^m y_{ij} \sum_{i=1}^m u_{ij}^2 - \sum_{i=1}^m u_{ij} \sum_{i=1}^m y_{ij} \cdot u_{ij}}{m \sum_{i=1}^m u_{ij}^2 - \left( \sum_{i=1}^m u_{ij} \right)^2},$$

$$b_j = \frac{m \sum_{i=1}^m y_{ij} \cdot u_{ij} - \sum_{i=1}^m y_{ij} \sum_{i=1}^m u_{ij}}{m \sum_{i=1}^m u_{ij}^2 - \left( \sum_{i=1}^m u_{ij} \right)^2},$$

теперь

$$\hat{v}_{ij} = y_{ij} - u_{ij}.$$

Третья процедура – непосредственно фильтрация. Первый шаг фильтрации представлен операциями выше. Второй шаг:

$$\Delta v_{ij} = \sum_{\tau=-T_0/2}^{T_0/2} \alpha_\tau \cdot \hat{v}_{ij}^{(1)},$$

$$\hat{v}_{ij}^{(2)} = u_{ij}^{(1)} + \Delta u_{ij},$$

$$\left. \begin{aligned} u_{ij}^{(2)} &= a_j^{(2)} + b_j^{(2)} \cdot u_{ij}^{(2)} \\ v_{ij}^{(2)} &= \hat{y}_{ij}^{(2)} - \hat{u}_{ij}^{(2)} \end{aligned} \right\}.$$

Третий, четвертый и последующие шаги итерации повторяют по действиям второй шаг. Число итераций равно оценке минимальной степени полинома, аппроксимирующего тренд ряда плюс один, т.е.  $(n+1)$ .

3. Прогнозирование сезонных процессов.

Первая аддитивная модель:

$$\hat{v}_t(i) = \sum_{j=v}^n a_j (T + t)^i, \quad n = 1, 2, 3, \quad t = \overline{1, L},$$

здесь

$$t = i \times T_0 + j, \quad i = 0, 1, \dots, m_L,$$

$$\hat{y}_T(i, j) = a_j + b_j \cdot u_T(i, j), \quad i = \overline{1, m_L}, \quad j = \overline{1, T_0},$$

$\hat{y}_T(i, j)$  – прогнозная оценка величины  $u_{m+i, j}$ .

Вторая аддитивная модель:

$$\hat{y}_T(t) = \sum_{j=0}^n a_j \cdot t^j + a_0(\tau) + \sum_{i=0}^{\tau_0/2} \{a_i(\tau) \cos \frac{2\pi}{T_0}(T+t) + b_i(\tau) \sin \frac{2\pi}{T_0}(T+t)\},$$

где

$$\tau = \left[ \frac{T+t+T_0}{KT_0} \right] + 1. \tag{27}$$

В правой части (27) квадратные скобки означают взятие целой части от выражения в скобках,  $K$  – число разбиений исходного временного ряда  $\{y_t, t = \overline{1, T}\}$  на равные отрезки:

$$\{y_t, t = \overline{1, T}\} = \{y_t, t = \overline{1, T}\} \cup \{y_t, t = T_1+1, T_2\} \cup \dots \cup \{y_t, t = T_{K-1}+1, T_K\}$$

Для каждого отрезка временного ряда  $\{y_t, t = T_{s-1}+1, T_s\}$  находятся коэффициенты Фурье  $a_0^{(s)}, a_j^{(s)}, b_j^{(s)}$ :

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{T_0} \sum_{i=1}^T t_i \\ a_j &= \frac{2}{T} \sum_{i=1}^T t_i \cos \frac{2\pi}{T_0} t_i \\ b_j &= \frac{2}{T} \sum_{i=1}^T t_i \sin \frac{2\pi}{T_0} t_i \\ a_{T_0/2} &= \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (-1)^i t_i \end{aligned} \right\}.$$

Из коэффициентов  $a_0^{(s)}, a_j^{(s)}, \dots, b_j^{(s)}, s = 1, 2, \dots, K$  составляется матрица

$$A_B = \begin{pmatrix} a_0^{(1)} & a_1^{(1)} & \dots & a_{T_0/2}^{(1)} b_1^{(1)} & \dots & b_{T_0/2-1}^{(1)} \\ a_0^{(2)} & a_1^{(2)} & \dots & a_{T_0/2}^{(2)} b_1^{(2)} & \dots & b_{T_0/2-1}^{(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_0^{(K)} & a_1^{(K)} & \dots & a_{T_0/2}^{(K)} b_1^{(K)} & \dots & b_{T_0/2-1}^{(K)} \end{pmatrix}.$$

Аналогично далее рассматриваются  $T_0$  временных рядов с коэффициентами  $a_0^{(s)}, a_j^{(s)}, b_j^{(s)}, s = \overline{1, K}$ , для каждого из которых находятся соответствующие значения  $C_0$  и  $C_1$ , аппроксимирующего линейного уравнения

$$Z_t = C_0 + C_1 t, \quad t = \overline{1, K}.$$

### Выводы

Решение методических вопросов прогнозирования грузопереработки морского порта с учетом сезонных колебаний является необходимым этапом на пути совершенствования управления работой морского транспорта.

Разработанный подход к формированию информационной базы учитывает разнообразные формы производственной деятельности порта в условиях ледовой обстановки, удовлетворяющий требованиям непрерывного планирования и регулирования работы порта.

Предложенный и усовершенствованный аппарат статистического прогнозирования включает все стадии обработки динамических рядов: анализ сезонных процессов, прогнозирование сезонной волны и построение доверительных интервалов. Такой подход к прогнозированию

нию может быть применен для широкого диапазона направлений и проблем, связанных с планированием работы флота и портов.

Основные положения анализа и прогнозирования тренд-сезонных колебаний работы морского транспорта позволяет вести разработку и реализацию современных информационных технологий в общей системе отраслевого управления.

#### Список использованных источников:

1. Леонтьев И.В. Понятие и сущность сезонных экономических явлений / И.В. Леонтьев. – М.: Статистика, 2003. – С. 38-45.
2. Голиков В.В. Опыт проводки судов ледоколом «Капитан Белоусов» в ледовую навигацию по Азовскому морю / В.В. Голиков, А.А. Лысый, П.А. Костенко // Судовые энергетические установки: научн. техн. сб. ОНМА. – Вып.27. – Одесса: ИздатИнформ ОНМА, 2011. – С. 39-44.
3. Кильдышев Г.С. Анализ временных рядов и прогнозирование / Г.С. Кильдышев, А.А. Френкель. – М.: Статистика, 2005. – С. 25-28.

#### Bibliography:

1. Leontyev I.V. The concept and essence of seasonal economic phenomena / I.V. Leontyev. – М.: Statystyka, 2003. – P. 38-45. (Rus.)
2. Golikov V.V. The experience of piloting the icebreaker «Kapitan Belousov» in ice navigation in the Azov sea / V.V. Golikov, A.A. Lysyi, P.A. Kostenko // Ship power plant : scient. tech. coll. ONMA. – Ed. 27. – Odessa: IzdatInform ONMA, 2011. – P. 39-44. (Rus.)
3. Kildyshev G.S. Time series analysis and forecasting / G.S. Kildyshev, A.A. Frenkel. – М.: Statystyka, 2005. – P. 25-28. (Rus.)

Рецензент: А.М. Берестовой  
д-р техн. наук, проф., АМИ ОНМА

Статья поступила 30.04.2015

УДК 629.423

© Воропай В.С.\*

### РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОБОСНОВАНИЯ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАГОНОВ

*В статье предложен расчетно-экспериментальный метод обоснования срока эксплуатации вагонов-цистерн, которые эксплуатируются химическими промышленными предприятиями. Разработана принципиальная схема расстановки датчиков тензометрирования и приведены результаты испытаний вагонов-цистерн.*

**Ключевые слова:** безопасность, промышленные предприятия, вагоны-цистерны, остаточный ресурс, показатели использования, механические напряжения, обечайка котла, сжиженный газ.

**Воропай В.С. Розрахунково-експериментальний метод обґрунтування терміну експлуатації вагонів.** У статті запропонований метод обґрунтування терміну експлуатації вагонів-цистерн, які експлуатуються хімічними промисловими підприємствами. Розроблена принципова схема розташування датчиків тензометрування та наведені результати випробувань вагонів-цистерн.

**Ключові слова:** безпека, промислові підприємства, вагони-цистерни, залишковий ресурс, показники використання, механічні напруги, обечайка котла, зріджений газ.

\* канд. техн. наук, ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, [uvoropay86@mail.ru](mailto:uvoropay86@mail.ru)