



УДК 656.073

DOI: 10.31799/2007-5687-2020-4-72-79

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Я. Я. Эглит¹, К. Я. Эглите², М. А. Шаповалова¹, Д. Г. Семина¹

¹Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова

²Санкт-Петербургский институт экономики и управления

Статья посвящена разработке методологии прогнозирования показателей работы транспортной системы с использованием математических моделей, с помощью которых можно эффективно производить анализ и прогнозирования функционирования сложных систем.

Ключевые слова: транспортная система, флот, суда, анализ, прогнозирование, математические модели.

Для цитирования:

Эглит Я. Я., Эглите К. Я., Шаповалова М. А., Семина Д. Г. Прогнозирование показателей работы транспортной системы // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №4(26), ISSN 2077-5678. – СПб.: ГУАП., 2020 – с. 72-79. РИНЦ.

FORECASTING THE PERFORMANCE OF THE TRANSPORT SYSTEM

Y. Y. Eglit¹, K. Y. Eglite², M. A. Shapovalova¹, D. G. Semina¹

¹Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

²Saint-Petersburg Institute of economics and management

The article is devoted to the development of a methodology for predicting the performance of the transport system using mathematical models that can be used to effectively analyze and predict the functioning of complex systems.

Key words: transport system, fleet, ships, analysis, forecasting, mathematical models.

For citation:

Eglit Y. Y., Eglite K. Y., Shapovalova M. A., Semina D. G. Forecasting the performance of the transport system // System analysis and logistics.: №4(26), ISSN 2077-5678. – Russia, Saint-Petersburg.: SUAI., 2020 – p. 72-79.

Введение

Возрастающие требования к повышению качества перспективных планов и долговременных научно-технических программ определяют необходимость совершенствования основ прогнозирования, повышения надёжности разрабатываемых прогнозов как научной основы системы планирования технической эксплуатации судов. В этой связи особое значение приобретают вопросы, связанные с методическим обеспечением прогнозных разработок, особенно на долгосрочный период [1, 2].

Особую сложность в методическом аспекте при разработке отраслевых комплексных прогнозов представляет прогнозирование эксплуатационных показателей, характеризующих основную деятельность отрасли. Как правило, эти объекты сложные, отличающиеся большой размерностью. К ним относятся объём и структура выпускаемой продукции, производительность труда, потребность в ресурсах, прибыль и рентабельность производства, себестоимость капиталоемкость продукции и др.

Сложность объектов и требования многовариантности прогностических оценок на различные периоды учреждения обуславливают необходимость применения эффективных методов прогнозирования, которые могли бы быть реализованы на базе компьютеров [1, 2, 3].

Такой методический принцип возможен при использовании математических моделей – важнейшего инструментария анализа и прогнозирования развития сложных экономических объектов. При том наибольший эффект может быть достигнут при применении многофакторных



математических моделей с использованием в качестве дополнительной прогнозной информации результатов экспертной оценки, параллельно проводимой специалистами данной области, данный методический подход является комплексным; он имеет особое значение в процессе прогнозирования развития сложных объектов на долгосрочный период.

Методика прогнозирования

На комплексном принципе базируется методика прогнозирования показателей эксплуатации флота. В качестве объектов прогнозирования принимаются основные комплексные показатели, определяющие работы по техническому обслуживанию флота.

Показатели, которые мы рассматриваем как объекты прогнозирования, относятся к основным плановым показателям технического обслуживания флота.

Учитывая сложную зависимость показателей от ряда взаимосвязанных факторов, в основу методики прогнозирования их развития положен множественный корреляционно-регрессионный анализ.

Сущность методического подхода для решения конкретных прогностических задач по развитию основных показателей технического обслуживания флота заключается в установлении аналитической формы связи некоторого комплексного показателя y , отражающего эксплуатационную эффективность морского транспорта, с рядом параметров (факторов) x_i , а именно:

$$Y = \varphi (x_1, x_2, \dots, x_i).$$

Для определения тесноты связи между функцией и несколькими факторами-аргументами служит коэффициент множественной корреляции R :

$$R_{y x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n} = \sqrt{1 - \frac{D}{D_{11}}},$$

где D – определитель полной матрицы коэффициентов парной корреляции; D_{11} – определитель матрицы, образованной из полной матрицы-коэффициентов парной корреляции путем вычеркивания элементов первой строки и первого столбца.

Коэффициент множественной корреляции изменяется в интервале $0 \leq R \leq 1$. Если нет корреляционной связи между функцией и всеми аргументами, то $R = 0$. Если эта связь функциональна, то $R = 1$.

При небольшом числе наблюдений величина выборочного коэффициента множественной корреляции имеет тенденции к повышению доли вариации, характеризуемой отобранными факторами. Поэтому величину следует корректировать по формуле:

$$R = \sqrt{1 - \left[(1 - R)^2 \left(\frac{N - 1}{N - n - 1} \right) \right]},$$

где R – скорректированное значение множественного коэффициента корреляции; R^2 – коэффициент множественной детерминации; N – число наблюдений; n – число факторов-аргументов.

Величина R^2 показывает, какая часть дисперсии функции обусловлена вариацией линейной комбинации аргументов при данных значениях коэффициентов регрессии a_i :

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n.$$



Параметры уравнения регрессии для модели определяются методом наименьших квадратов из выражения:

$$a_i \sum_{i=0}^n C_{ij} = \sum_{i=0}^N y_i X_{ij}$$

где C_{ij} – элемент обратной матрицы; n – число факторов-аргументов; N – число наблюдений.

Значимость уравнения регрессии можно проверить путем вычисления F-критерия:

$$F = S_y^2 / S_{ост}^2,$$

где $S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{N-1}$, $S_{ост}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}_i)^2}{N-n-1}$.

При этом проверяется гипотеза о том, что выражение по построенному уравнению регрессии лучше, чем выражение по уравнению $y_i = \bar{y}_i$. Полученное значение F-критерия сравнивается с табличным при выбранном уровне значимости. Если оно окажется больше соответствующего табличного значения, то вышеприведенная гипотеза не отвергается.

Частные коэффициенты эластичности для линейного уравнения множественной регрессии рассчитываются по формуле:

$$\Theta = \frac{a_i x_i}{y_i}.$$

Частные коэффициенты эластичности показывают, как в среднем изменяется функция (в%) с изменением данного аргумента на 1% при фиксированных значениях других аргументов. Значения β -коэффициентов вычисляются по уравнению:

$$\beta = \frac{a_i S x_i}{S y_i}.$$

Коэффициент показывает, на какую часть среднеквадратичного отклонения изменяется зависимая переменная с изменением соответствующего фактора на величину своего среднеквадратичного отклонения при фиксированных значениях других аргументов для нахождения параметров степенной функции вида $y = a_0 x_1^{a_1} x_2^{a_2} \dots x_n^{a_n}$ её необходимо линеаризовать. Для того надо прологарифмировать левую и правую части уравнения, тогда функция может быть записана в виде:

$$\lg y = \lg a_0 + a_1 \lg x_1 + a_2 \lg x_2 + \dots + a_n \lg x_n.$$

Если произвести замену переменных: $\lg y = z$, $\lg a_0 = a_0$, $\lg x_1 = u_1$, $\lg x_2 = u_2$, ..., $\lg x_n = u_n$, то уравнение множественной регрессии примет вид:

$$z = a_0 + a_1 u_1 + a_2 u_2 + \dots + a_n u_n.$$



Параметры такого уравнения могут быть найдены методом наименьших квадратов, как в линейном уравнении. После того как будут найдены все параметры уравнения регрессии можно перейти к исходному уравнению путем потенцирования.

В случае степенной модели для определения тесноты связи можно использовать некоторый аналог корреляционного соотношения, который вычисляется по формуле:

$$\eta = \sqrt{\frac{\delta^2}{S^2_y}}$$

где S^2_y – общая дисперсия зависимой переменной, показывающая общее влияние на нее всех факторов, в том числе и отобранных; δ^2 – дисперсия теоретической гиперповерхности регрессии, характеризующая влияние на зависимую переменную только отобранных факторов: $\delta = \frac{\sum_{i=1}^M (y_i - \bar{y})^2}{N-1}$.

При этом важно отметить, что $y \neq \bar{y}$.

Коэффициенты регрессии в модели являются частными коэффициентами эластичности. Если сумма коэффициентов регрессии $\sum_{i=1}^N a_i > 1$, то зависимая переменная увеличивается в большей степени, чем факторы, влияющие на ее уровень, и, наоборот, если $\sum_{i=1}^N a_i < 1$, то независимая переменная увеличивается в меньшей степени.

В связи с большой размерностью прогнозируемых объектов использование описанного методического подхода требует построения многофакторных моделей на компьютере.

На этапе 1 проводится анализ объекта в динамике его развития, а также его связи с другими показателями, влияющими на его изменения. В итоге будет получена информация о внутренних и внешних связях и об особых свойствах объекта.

На основании анализа исследуемого объекта на этапе 2 выявляются показатели, оказывающие определенное влияние на данный объект. При этом проводится отбор наиболее существенных из них с точки зрения поставленной задачи.

На этапах 3-5 осуществляются сбор и обработка информации с целью создания информационной модели. Информация о динамике развития выбранных показателей включает данные, имеющие численные значения (этап 3), и данные, которые не могут быть представлены количественно без специальной статистической обработки. Это, главным образом, внешние факторы, относящиеся к прогностическому фону (этапы 4 и 5).

На этапе 6 проводятся выбор метода для описания исследуемого объекта, построение математической модели и в соответствии с ними алгоритма расчёта параметров данной модели (факторных весов, коэффициентов уравнений множественной регрессии).

Непосредственная реализация математической модели на компьютере осуществляется на этапах 7 и 8. В процессе данной реализации происходит отбор существенных факторов-аргументов.

Прогнозирование значений выбранных факторов выполняется на этапах 9-11. В качестве методов прогнозирования используются методы непосредственной экстраполяции. При этом предполагается, что статистическая структура объекта в прогнозируемый период не изменяется, т.е. предусматривается постоянная связь между объектом и факторами на всём отрезке времени удаления. Определённые экстраполяционным способом прогностические тенденции анализируются, из них выбираются наиболее реальные, которые в принципе могут иметь место в перспективный период.

Следующий, 12-ый этап, относится к стадии экспертной оценки результатов, полученных на предыдущем этапе.

Полученные прогностические тенденции развития исследуемых факторов представляются специалистам-экспертам, которые оценивают наиболее вероятную тенденцию. В дальнейшем проводятся обработка экспертных данных и окончательный выбор прогнозных значений факторов.



Следует отметить, что использование одновременно двух по существу различных методов позволяет повысить вероятность прогноза, так как фактически исключается формальный перенос существующих тенденций на исследуемый перспективный период.

На этапе 13 рассчитываются прогнозные значения исследуемого объекта путём подстановки в разработанную модель прогнозируемых значений факторов. В результате получаем ряд возможных вариантов развития прогнозируемого объекта в зависимости от различных значений факторов.

Анализ результатов прогноза (этап 14) проводится с учетом всего комплекса факторов, характеризующих исследуемый объект. При этом результаты прогноза корректируются с учетом возможного влияния внешних (в основном качественных) факторов, неучтенных в модели.

Откорректированные результаты прогноза являются исходной информацией для разработки комплексной программы научно-технического прогресса, долговременных программ технического обслуживания флота, а также всей системы перспективного планирования, включая схему развития и размещения отрасли.

В конечном итоге практические мероприятия по использованию результатов прогноза (этап 15) через обратную связь должны оказывать влияние на прогнозируемый объект.

Для построения многофакторных корреляционно-регрессионных моделей разработана машинная программа, реализованная на компьютере. Программа позволяет определить коэффициенты множественного уравнения регрессии, рассчитать статистики корреляционного и регрессионного анализа, оценить значимость факторов-аргументов и отсеять несущественных факторов.

Программа производит построения следующих видов уравнений регрессии:

- линейного уравнения $y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p$;
- степенного уравнения: $y = ax_1^{b_1}x_2^{b_2}, \dots, x_p^{b_p}$;
- экспоненциального уравнения: $y = e^{a+b_1x_1+b_2x_2+\dots+b_px_p}$,
- обратного уравнения: $y = (a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p)^{-1}$;
- уравнения полинома первой степени и квадратов факторов: $y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p + c_1x_1^2 + \dots + c_px_p^2$;
- уравнение полинома второй степени: $y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p + c_1x_1^2 + \dots + c_px_p^2 + k_1x_1x_2 + k_2x_1x_3 + \dots + k_mx_{p-1}x_p$;
- линейного уравнения без свободного члена: $y = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p$;
- степенного уравнения без свободного члена: $y = x_1^{b_1}x_2^{b_2}, \dots, x_p^{b_p}$.

Оценка значимости факторов и отсеивание несущественных из них могут быть осуществлены в любом из следующих режимов работы программы.

1. Отсев факторов по оценке существенности коэффициентов регрессии по t-критерию при доверительной вероятности 0,95
2. Последовательный отсев факторов, начиная с последнего
3. Отсев факторов, находящихся в тесной связи (исключения явления мультиколлинеарности), на основе анализа матрицы коэффициентов парных корреляций по оценке степени падения значимости уравнения регрессии (расчётного значения F-критерия).
4. Метод исключения. Исключение факторов на основе анализа падения значимости уравнения регрессии (расчётного значения F-критерия) путем просмотра и сравнения результатов исключения всех имеющихся факторов на данном шаге вычислений.
5. Метод включения. Включение факторов на основе анализа роста значимости уравнения регрессии (расчётного значения F-критерия) путем просмотра всех факторов и сравнения результатов вычислений, поочередного включения факторов и усложнения уравнения от одного фактора до полного состава имеющихся факторов.

При решении задачи прогнозирования основных эксплуатационных и экономических показателей технического обслуживания флота обработка данных проводится в двух режимах – 1 и 4.



Вид уравнения выбирается непосредственно в процессе разработки прогноза в зависимости от значения исходных данных, их надежности и гипотезы развития данного показателя в перспективе. При этом строится ряд функций и оцениваются их адекватность с помощью коэффициентов множественной корреляции, значимость уравнений регрессии, средняя ошибка аппроксимации. Затем путём сравнения построенных функций выбирается наиболее адекватная из них.

В качестве исходных данных используются динамические ряды, формируемые на основе имеющейся статистики. Программа рассчитана на возможность ведения не более 30 факторов-аргументов при числе наблюдений до 400, что вполне достаточно для решения задач, предусмотренных программой прогнозных разработок при техническом обслуживании флота.

В результате расчётов на компьютере выводятся

- номер решаемой задачи;
- матрица исходных данных и их контрольные суммы;
- название вида уравнения регрессии;
- режим работы программы;
- коэффициенты уравнения регрессии;
- средние арифметические, средние квадратические ошибки и дисперсии;
- коэффициенты вариации результативного показателя факторов-аргументов;
- коэффициенты эластичности факторов-аргументов;
- β -коэффициенты факторов-аргументов;
- сумма квадратов остаточных отклонений;
- остаточная дисперсия;
- средняя квадратическая ошибка оценивается по уравнению;
- коэффициент множественной детерминации;
- коэффициент множественной корреляции;
- исправленная остаточная дисперсия;
- значимость уравнения регрессии, расчетный и табличный F-критерий Фишера при доверительной вероятности 0,95;
- исправленный коэффициент множественной детерминации;
- исправленный коэффициент множественной корреляции;
- значимость коэффициента тождественной корреляции;
- коэффициент множественной детерминации и корреляционные отношения для степенного уравнения регрессии;
- значимость корреляционного отношения, наблюдаемые расчетные значения результативного показателя, отклонения расчетных значений от наблюдаемых, отклонения в процентах;
- средняя ошибка аппроксимации в процентах;
- матрица коэффициентов парной корреляции;
- средние квадратические ошибки коэффициентов регрессии;
- частные коэффициенты корреляции.

На экран компьютера выводятся статистические оценки для уравнений регрессии с составом факторов, получаемых по заданному режиму работы программы на каждом шаге.

Алгоритм и программа расчета с инструкцией по выполнению утренних программ и подготовка исходных данных представлены ниже. По данной программе был построен ряд многофакторных моделей для прогнозирования комплексных показателей технического обслуживания флота. Для реализации данных моделей в процессе прогнозирования необходимо определить прогнозные значения факторов x_i , входящих в многофакторные модели. Эти значения могут быть получены либо из каких-нибудь источников информации, либо на основе экстраполяции уравнений регрессии динамических рядов факторов. При решении этих задач, связанных с прогнозированием основных



показателей технического обслуживания флота в качестве основного используется метод непосредственной экстраполяции с предварительным поведением факторного анализа.

С помощью разработанной программы методом наименьших квадратов для каждого фактора рассчитывается уравнение регрессии нескольких видов. В практических исследованиях используются следующие виды функций:

- линейная $x=a+bt$;
- квадратичная парабола $x=a+bt+ct^2$;
- кубическая парабола $x=a+bt+ct^2+dt^3$;
- кинетическая функция $x=at^b e^{ct}$;
- обратная функция вида $x=(a+bt)^{-1}$;
- степенная функция $x=at^b$;
- показательная функция $x=ab^t$...

Для каждого вида функций рассчитываются статистические оценки: среднеквадратические отклонения и ошибки, которые служили критериями при выборе аппроксимирующих зависимостей. При этом учитываются мнения специалистов, что является дополнительной информацией о тенденциях развития факторов.

Заключение

Прогнозные значения факторов представляются в многофакторные корреляционно-регрессионные модели исследуемого показателя, который прогнозируется на весь перспективный период.

В процессе прогнозирования проводятся расчёты границ доверительного интервала, в котором может находиться рассматриваемый показатель на рассматриваемом этапе прогнозирования.

Верификация прогнозов проводится методом привлечения экспертов-специалистов. В отдельных случаях используется инверсная верификация путем проверки адекватности прогностической модели на ретроспективном периоде.

Данная методика была использована практически при разработке проекта долговременной комплексной программы технической эксплуатации судов. Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования данной методики для прогнозирования технической эксплуатации судов не только эксплуатационных показателей его работы, но и ряда технических параметров на долгосрочный период.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Эглит Я.Я.* Транспортные системы доставки грузов – СПб.: «Феникс», 2005.-300с
2. *Эглит Я.Я.* Управление транспортными системами – СПб.: «Феникс», 2004.-424с.
3. *Эглит Я.Я.* Эксплуатация транспортных систем – СПб.: «Феникс», 2008.- 421с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Эглит Ян Янович –

профессор, д.т.н., заведующий кафедрой управления транспортными системами
Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова
198035, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
E-mail: eglit34@mail.ru

Эглите Катрина Яновна –

профессор кафедры логистики
Санкт-Петербургский институт экономики и управления
194044, г. Санкт-Петербург, Крапивный переулок, 5



Шаповалова Мария Андреевна –

доцент кафедры УТС

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова
198035, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7

Семина Дарья Геннадьевна –

бакалавр кафедры УТС

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова
198035, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Eglit Yan Yanovich –

professor, PhD. tech. Sciences, head of the department of UTS

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping

5/7, Dvinskaya str, Saint-Petersburg, 198035, Russia

E-mail: eglit34@mail.ru

Eglit Katrina Yanovna –

DeS., Professor of Logistics

St. Petersburg Institute of Economics and Management

5, Krapivniy side St, Saint-Petersburg, 194044, Russia

Shapovalova Maria Andreevna –

assistant of UTS department

St. Petersburg named after V.B. Bobkov Branch of the Russian Customs Academy

5/7, Dvinskaya str, Saint-Petersburg, 198035, Russia

Semina Darya Gennadievna –

bachelor of UTS department

St. Petersburg named after V.B. Bobkov Branch of the Russian Customs Academy

5/7, Dvinskaya str, Saint-Petersburg, 198035, Russia