

11. Варюхина С. Ю. Антистрессовые и антимуtagenные свойства пропионовокислых бактерий. Автореф. дисс. канд. биолог. наук. Москва. – 2004. – 21 с.

12. Бояринева И.В., Потапчук Н.Ю., Хамагаева И.С. Разработка мультиштаммовой пробиотической закваски // Улан-Удэ: Вестник ВСГУТУ. – 2013. - №4. – с. 80-84.

13. Бояринева И.В., Потапчук Н.Ю., Хамагаева И.С. Исследование пробиотических свойств комбинированной закваски // Кемерово: Техника и технология пищевых производств. – 2013. - №1. – с. 54-58.

14. Бояринева И.В. Разработка технологии нового пробиотического кисломолочного продукта // Тамбов: Перспективы наука. – 2013. - №9. – с. 26-30.

15. Рамонова Э. В. Выделение и идентификация местных штаммов молочнокислых микроорганизмов и их использование в качестве пробиотиков Тест.: автореф. дис. канд. биологич. наук / Кафедра биологической и химической технологии ФГБОУ ВПО «Горский государственный аграрный университет», Владикавказ, 2011 – 21 с.

---

## ДОСТОВЕРНОЕ ВРЕМЕННОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИЗДЕЛИЙ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ

---

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.66.298](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.66.298)

*Герман Галина Валентиновна*

*доктор технических наук, профессор,*

*профессор кафедры технологии судового машиностроения*

*Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (СПбГМТУ)*

### АННОТАЦИЯ

Увеличение объёмов баз данных при создании и использовании изделий морской техники диктует необходимость снижения размерности этих баз с одновременным повышением достоверности получаемых оценок. Предложенный подход содержит методы параметрического и временного моделирования при разработке математических моделей оценки показателей с использованием определяющих параметров и одновременным значительным сокращением погрешности оценок, что особенно важно при малом числе наблюдений. Реализация предложенного нового научно-технического подхода в судостроении доказала свою необходимость и состоятельность, обеспечивая экономию расходов и сокращение сроков подготовки производства.

### ABSTRACT

The increase in databases in the creation and use of marine products necessitates reducing the size of these databases while increasing the reliability of the estimates received. The proposed approach contains methods of parametric and temporal modeling in the development of mathematical models for the evaluation of indicators using defining parameters and a simultaneous significant reduction in the error of estimates, which is particularly important with a small number of observations. Implementation of the proposed new scientific and technical approach in shipbuilding has proved its necessity and validity, providing cost savings and shorter production preparation times.

**Ключевые слова:** достоверность и погрешность оценки; определяющие параметры и методы их выявления; параметрический и временной прогноз показателей изделий морской техники.

**Keywords:** the validity and error of the assessment; Determining the parameters and methods for identifying them; Parametric and temporal forecast of marine equipment.

Создание изделий морской техники (МТ) в современных условиях приводит к необходимости формирования и использования многомерных баз данных (БД), формируемых на основе классификационных характеристик судов, данных, содержащихся в технической, конструктивно-технологической, эксплуатационной, ремонтной, планово-экономической, бухгалтерской, отчётной, рекламной и другой документации, декомпозиция и группирование которой выполняются на основе различных принципов в зависимости от принятых целей использования и особенностей создаваемых изделий. Сокращение размерности используемой информации для достоверного временного прогноза, выявления основных научно-технических тенденций развития изделий МТ и технико-экономических показателей её

производства и использования на уровне лучших мировых образцов предполагают постановку и решение задач анализа свойств изделий и процессов на стадиях их проявления с последующим достоверным прогнозированием этих свойств на более ранних стадиях, когда проектируются и реализуются решения, видоизменяющие эти свойства.

Решение названной проблемы невозможно без достоверного временного прогнозирования параметров и показателей многообразных изделий и процессов с одновременным сокращением размерности используемых для этих целей данных.

При этом всё мировое производство направлено на создание объектов материального мира. Вот почему пространство параметров и время, как основные свойства и формы

существования материи, должны выступать в многомерном единстве связей между ними и отражать наиболее существенные свойства, как объектов, так и процессов.

Указанный подход выдвигает проблему выявления определяющих параметров, известных или достоверно прогнозируемых на ранних стадиях принятия решений (при разработке технических заданий (ТЗ) на создание новых образцов изделий МТ, заключения контрактов, содержащих достоверно обоснованные перспективные технические и эксплуатационные характеристики, трудоёмкость, сроки и стоимость создания изделий

МТ, проектирования, начиная с ранних этапов, технологической подготовки производства).

Выполненными автором исследованиями [1.2] установлено, что на первом этапе решения указанной проблемы из многомерных систем БД следует выделить определяющие параметры. Под определяющими следует понимать такие параметры, которые наиболее прямым и тесным образом связаны с искомым показателем. Как известно [3, с.21; 7, с.43], такая процедура может быть выполнена на основе анализа расчётных значений парных коэффициентов корреляции во всём множестве связей параметров и показателей:

$$r_{yx} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}, \tag{1}$$

где

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i; \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

1.Значения  $|r_{yx}|$  лежат в пределах

2.0  $\leq |r_{yx}| \leq 1$ .

3.Если значение  $0,8 \leq |r_{yx}| \leq 1,0$ - связь сильная линейная, выявленный параметр  $x$  следует включить во множество определяющих, сократив тем самым многомерность анализируемой базы данных. К недостатку предложенного подхода можно отнести наличие линейных, нелинейных и/или стохастических связей между параметрами. Вторым этапом анализа связей предлагается выполнение расчёта вклада параметров в изменение исследуемого показателя с

использованием метода главных компонент (МГК) [6, с.3]. Выполненные автором расчёты показывают совпадение выявленных параметров на основе корреляционно-регрессионного анализа и МГК.

4.Второй основной задачей временного прогнозирования является разработка достоверных математических моделей оценки абсолютных удельных значений искомых показателей от времени. Попытки создания таких моделей были выполнены в 2000 г. в области судовых электромонтажных работ [2] и предложены в виде [6, с.59-64]:

$$T_{стр.нов.} = \frac{\frac{T_{стр.}}{D} (\tau) D_{нов.} + \frac{T_{стр.}}{N} (\tau) N_{нов.} + \frac{T_{стр.}}{\Pi} (\tau) \Pi_{нов.}}{3}, \tag{2}$$

В (2) приняты следующие обозначения:  $D$ - водоизмещение судна, т;  $N$ , - мощность энергетической установки, кВт;  $\Pi$  - производительность котельной установки, кВт. - определяющие, выбранные по результатам оценок

(1);  $\tau$  - срок начала строительства судна.  $D_{нов.}$ ;  $N_{нов.}$ ;  $\Pi_{нов.}$  - параметры вновь строящихся заказов.

Для учёта конкретных условий строительства судов (или создания иных изделий МТ) следует рассчитать регрессионные временные зависимости вида:

$$\frac{T_{стр.}}{D} (\tau); \frac{T_{стр.}}{N} (\tau); \frac{T_{стр.}}{\Pi} (\tau) \dots \dots \dots, \tag{3}$$

где  $\tau$ - год начала строительства заказа (создания изделий МТ), в соответствии с методикой [4, с. 20], например, в виде:

$$\frac{T_{стр.}}{D} (\tau) = b_0 + b_1 \tau + b_2 \tau^2 + \dots \tag{4}$$

Уравнения вида (4) согласно требованиям корреляционно-регрессионного анализа и синтеза должны удовлетворять критериям несмещённости, эффективности и состоятельности, то есть обеспечивать при временном прогнозировании достоверные результаты [3, с.20].

Расчитанные по ранее построенным заказам зависимости (2) и (3) позволяют учесть уровень технического оснащения производства, организацию работ, технологию и т.д., т.е. условия выполнения работ, достигнутые на конкретном судостроительном предприятии, и предлагаются

для временного прогноза новых условий строительства или для оценки управления производством с целью повышения его эффективности.

Выражение (2) может содержать различное число оценок, построенных на непересекающемся множестве параметров судов. Усреднение оценок делением на число составляющих позволяет снизить систематическую и случайную погрешности оценки прогнозного значения трудоёмкости вновь строящегося заказа. В приведённом в (3) примере построения расчётной зависимости систематическая погрешность оценки снижена в 3 раза. Использование прогнозных значений оценок условий производства на момент начала строительства нового заказа (создания нового изделия МТ) соответствует тенденции эволюционного развития производства и снижает погрешности оценок. Полученные в 2000 г. на основе предложенного подхода и разработанных методик оценки трудоёмкости электромонтажных работ для одного из цехов предприятия «Электрорадиоавтоматика» по построенным и строящимся заказам показали, что погрешность оценки не превысила 1%!!! Оценка выполнена специалистами судостроительного предприятия. Предложенный подход удовлетворяет системному требованию учёта пространства параметров и времени при создании конкурентоспособной наукоемкой продукции – судов и изделий МТ, а также для использования при любом уровне декомпозиции судостроительного производства и изделий МТ на различных этапах их жизненного

цикла. Наличие временных регрессионных зависимостей вида (2), (4) позволяет отказаться от необходимости корректировки расчётных зависимостей по статистическим данным каждые 5 лет. Выборки определяющих параметров, известных на этапах ТЗ и заключения контрактов на выполнение работ, расчёты необходимых зависимостей позволяют достоверно прогнозировать будущие объёмы работ и планировать должным образом судостроительное и иное производство в обеспечение создания конкурентоспособных изделий МТ.

Как правило, разработанные регрессионные зависимости вида (4) - нелинейные. Их расчёт может быть затруднён малым количеством данных наблюдений (не более 5-ти), отражающих процесс подготовки производства и/или создания изделий МТ).

Для успешного решения задачи разработки достоверных временных зависимостей вида (4) при малом числе наблюдений предложены к использованию новые дополнительные проверки и критерии, не отмеченные, например, в [7, с.43]:

1. Выполнить корреляционно - регрессионный анализ, выявить определяющие параметры и рассчитать новые исходные данные в виде абсолютных удельных значений  $y/x=f(t)$ , где  $y$  – прогнозируемый показатель:  $x$  – определяющий параметр:  $t$  – временной параметр начала, продолжительности или окончания процесса.

2. Для выдвижения гипотезы о виде модели оценки (как правило, нелинейной) построить график

$$y/x = b_0 + b_1 * t \quad (5)$$

$$\text{и график } b_1 = f(t), \quad (6)$$

анализ которых позволит выдвинуть наиболее близкую гипотезу о виде нелинейных зависимостей (5) и (6).

3. Рассчитать и проверить на соответствие всем статистическим критериям модель (6) [3, с.20], проверив при этом

$$\sigma[e] = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}{n-1}} = \text{Const} < \dot{Y}, \quad (7)$$

$$\dot{Y} = y/x.$$

Среднеквадратичное отклонение остатков (7) не только не выявляет отклонений от нормального поведения ошибки, но и остаётся меньше среднего значения  $\dot{Y}$ .

4. После расчёта модели (6) вставить полученную модель в уравнение (5), линеаризовать и рассчитать уравнение (5). После расчёта и проверки (5) вернуться к исходному значению  $y$ .

Предложенный подход апробирован при разработке временных зависимостей оценки продвижения работ при строительстве судовых заказов

С целью снижения погрешности оценки при временном достоверном прогнозировании предложено не усреднение полученных

результатов, как в (2) на основе временных регрессионных моделей оценки (3), полученных на непересекающемся множестве параметров, а объединение результатов оценок с учётом наличия систематической и случайной погрешностей (см. п.4 в [5])

Примеры разработки расчётных зависимостей продвижения работ по строительству судовых заказов  $p_i(t)$

С целью прогнозирования продвижения работ при новом строительстве, используя полученные выражения (5), (6), выполнить:

1. Прогноз продвижения работ  $p(t)$  по сроку начала строительства.

Срок начала строительства  $t = t_i^{\text{нач.}}$  мес. отсчитывается в предложенной БД от января 2004 г.

$$P(t) = -452321.56 + 33089.3 * t - 452.566 * t^2, \text{ нормо-ч/мес.} \quad (8)$$

2. Прогноз продвижения работ  $p(t)$  по продолжительности строительства судового заказа  $\tau_{\text{стр.}}$ , мес.

$$P(t) = 308295.706 - 5236.605 \tau_{\text{стр.}}, \text{ нормо-ч/мес.} \quad (9)$$

3. Прогноз продвижения работ  $p(t)$  по сроку окончания строительства судового заказа  $t = t_i^{\text{ок.}}$ , 2004 г.

$$\lg p(t) = 57.783652 + 0.190706 * t - 35.916051 * \lg t. \quad (10)$$

$\lg t$  – десятичный логарифм  $t$ , мес.

$$P(t) = \text{power ten}(\lg(p(t))), \text{ нормо-ч/мес.} \quad (11)$$

Значение  $P(t)$  в (11) определяется потенцированием числа  $\lg p(t)$ , полученного в (11).

Для определения итогового среднего прогнозного продвижения работ будущего судового заказа определить  $p(t)$  по (8), (9), (10) и (11) и оценить среднее значение.

Пример расчёта.

Определим прогнозные значения продвижения работ для данных заказа 4:

$t_4^{\text{нач.}} = 22$  мес.,  $\tau_{\text{стр.}} = 54$  мес.,  $t_4^{\text{ок.}} = 75$  мес. Данные приведены в соответствии с табл. 1 исходных данных отчёта по теме X-582. Тогда:

$p(t) = 56601.66$  нормо-ч/мес. по (1);  $p(t) = 25519.04$  нормо-ч/мес. по (2);  $p(t) = 55184.231$  нормо-ч/мес. по (3). Среднее значение  $p(t)^{\wedge} = (56601.66 + 25519.04 + 55184.231) / 3 = 34326.2$  нормо-ч/мес.

Погрешность оценки по сравнению с исходным значением  $p(t) = 35091$  нормо-ч/мес. составит:

$$\delta = \frac{35091 - 34326.2}{35091} = 0,021795 (\sim 2.18\%).$$

## Выводы.

1. Разработку достоверного временного прогноза параметров и показателей изделий МТ и процессов их создания и использования предлагается выполнять на основе использования непересекающегося множества определяющих параметров.

2. Вид математических моделей оценки – временных прогнозных зависимостей, – абсолютные удельные показатели, отнесённые к значениям определяющих параметров и их зависимость от времени.

3. Использование определяющих параметров позволяет существенно сократить размерность базы данных. Использование корреляционно-регрессионного анализа и метода главных компонент позволяет повысить обоснованность в выборе определяющих параметров.

4. Усреднение результатов оценок обеспечивает сокращение систематической и случайной погрешностей.

5. Реализованные требования к разработанным моделям – соответствие всем необходимым статистическим критериям, позволяют обеспечить достоверность прогноза.

## Литература

1. Герман Г.В. Разработка и реализация при проектировании требований монтажной

технологичности комплексов электрооборудования судов. Диссертация на соискание уч. степени к.т.н. СПб, 1988 г.

2. Герман Г.В. Методология управления технологией монтажа судового электрооборудования. Диссертация на соискание уч. степени д.т.н. СПб. 2003.

3. Г.В.Герман, В.И.Черненко, Б.Л.Резник, Д.Д.Черкас. Расчётно-аналитические методы и их использование в решении задач технологической подготовки машиностроительного и судостроительного производств. Учебное пособие. СПб. РИО СПбГМТУ, 2015 г. 63 с.

4. Герман Г.В., Рогозин В.А., Емельченков Г.А. Прогноз трудоёмкости строительства конкурентоспособных судов с учётом условий производства. Морской вестник, № 2, 2014 г., с.18.

5. Герман Г.В. Новые методологические подходы в получении оценок показателей и параметров производственных и технологических процессов в судостроении. Морские интеллектуальные технологии №1 (43) Т.1 2019 г с. 59-64.

6. Марченко В.А., Каримов Р.Н., “Метод главных компонент”, методическое пособие. Волгоград, 2004 г., 24 с.

7. Н. Дрейпер, Г. Смит. Прикладной регрессионный анализ. Т1. М.: Финансы и статистика, 1987 г., 366с.