

ЛИТЕРАТУРА

1. Апарцин А.С., Сидлер И.В. Применение неклассических уравнений Вольтерра I рода для моделирования развивающихся систем // Автоматика и телемеханика. 2013. № 6. С. 3-16.
2. Апарцин А.С., Сидлер И.В. Интегральные модели развития систем электроэнергетики с учетом старения оборудования электростанций // Электронное моделирование. 2014. Т. 36. № 4. С. 81-88.
3. Апарцин А.С. Неклассические уравнения Вольтерра I рода: теория и численные методы. Новосибирск: Наука, 1999.
4. Апарцин А.С., Сидлер И.В. Численное решение уравнений Вольтерра I рода в интегральных моделях развивающихся систем // Сборник трудов Международного симпозиума «Обобщенные постановки и решения задач управления». М.: АНО «Издательство физико-математической литературы», 2014. С. 21-25.
5. Сидлер И.В. Программное средство для численного решения неклассических уравнений Вольтерра I рода модифицированным методом левых прямоугольников // А.с. № 2015612206, опубл. 13.02.2015.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа поддержана грантом РФФИ № 15-01-01425а.

Поступила в редакцию 5 мая 2015 г.

Apartsyn A.S., Sidler I.V. ON ONE STABLE METHOD FOR NUMERICAL DIFFERENTIATION Method for numerical differentiation is proposed. It is based on numerical solving nonclassical Volterra equation of the first kind.

Key words: numerical differentiation; nonclassical Volterra equation of the first kind; quadrature method.

Апарцин Анатолий Соломонович, Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, e-mail: apartsyn@isem.sei.irk.ru

Apartsyn Anatoly Solomonovich, Melentiev Energy Systems Institute of SB RAS, Irkutsk, the Russian Federation, Doctor of Physics and Mathematics, Chief Researcher, e-mail: apartsyn@isem.sei.irk.ru

Сидлер Инна Владимировна, Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, e-mail: krlv@isem.sei.irk.ru

Sidler Inna Vladimirovna, Melentiev Energy Systems Institute of SB RAS, Irkutsk, the Russian Federation, Candidate of Technics, Associate Professor, Senior Researcher, e-mail: krlv@isem.sei.irk.ru

УДК 351.814

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ КОНТРАКТА, ОСНОВАННОГО НА ПОКАЗАТЕЛЯХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

© М.Р. Асадуллин, П.М. Симонов

Ключевые слова: контракт, основанный на показателях деятельности; экономико-математическая модель эксплуатации парка двигателей; постановка задачи поиска оптимальных условий контракта основанного на показателях деятельности.

В статье описан положительный зарубежный опыт применения контрактов, основанных на показателях деятельности, на послепродажное обслуживание авиационной техники. Приведены результаты моделирования эксплуатации парка двигателей по традиционным контрактам, проиллюстрированы проблемы, с которыми может столкнуться заказчик в условиях традиционных контрактов. Дана постановка задачи определения оптимальных условий контракта, основанного на показателях деятельности.

В мире растет количество стран, в которых распределение функций и ответственности за послепродажное обслуживание авиационной техники между оборонными ведомствами и промышленностью регулируется с помощью контрактов, основанных на показателях деятельности (англ. *Performance-Based Contracts*, далее *PBC*). В отличие от традиционных контрактов (англ. *Time & Material Contracts*, далее *TMC*), которые определяют факторы производства, контракты, основанные на показателях деятельности, в первую очередь направлены на результаты, и это стимулирует подрядчика к инновациям и поиску экономически эффективных подходов в предоставлении услуг. Так, одним из наиболее успешных примеров реализации контрактов PBC в США можно считать сервисную поддержку американского палубного истребителя-бомбардировщика и штурмовика F/A-18 E/F Super Hornet, осуществляемую фирмой Boeing, по результатам которой удалось сократить среднее время на устранение неисправности с 42,6 дней до двух дней и повысить исправность парка самолетов с 67% до 85% [1].

Другим примером является программа комплексной поддержки американского стратегического военно-транспортного самолета Boeing C-17 Globemaster III, благодаря реализации которой стоимость летного часа сократилась на 29%, что дало совокупную экономию ВВС США более \$1 млрд. [2]. В перспективе такие контракты, при условии их надлежащей проработки, могут быть внедрены и в российский военно-промышленный комплекс, что может стать основой его долгосрочного устойчивого развития.

Используемые в контрактах показатели деятельности привязываются к определенным срокам и позволяют заказчику более объективно оценивать деятельность подрядчика, при этом выбор данных показателей деятельности зависит от целей контракта. В сфере послепродажного обслуживания (далее — ППО) авиационных двигателей такими показателями, как правило, являются исправность и стоимость ППО парка двигателей и самолетов, доступность запасных частей, количество невыполненных обращений на склад, среднее время на устранение неисправности. Перед тем, как выбрать целевые значения показателей деятельности, сторонам контракта следует провести тщательный анализ затрат и доходов в условиях традиционных контрактов TMC. Такая оценка будет являться так называемым базовым сценарием и позволит сторонам контракта согласовать реалистичные показатели деятельности. Провести такую оценку позволяет разработанная автором экономико-математическая модель эксплуатации парка двигателей в составе расчетной группы военно-транспортных самолетов.

В качестве исходных данных модели используется информация о: периоде и темпе формирования расчетной группы военно-транспортных самолетов; динамике формирования фонда запасных двигателей; технических и стоимостных характеристиках двигателей; ремонтной базе подрядчика и характеристиках транспортной системы.

В самой модели имитируются все основные этапы эксплуатации двигателей: нахождение двигателя на крыле самолета в процессе выполнения полетов, в капитальном и аварийно-восстановительном ремонтах, в дороге на ремонтную базу подрядчика и обратно к месту базирования заказчика, хранение двигателей на складе, а также в дороге со склада для установки на крыло самолета.

Далее приводятся результаты моделирования для расчетной группы 4-х двигательных военно-транспортных самолетов (далее — ВТС).

Основные исходные данные, принятые при моделировании:

- период эксплуатации расчетной группы ВТС — 20 лет;
- темп нарастания расчетной группы ВТС — 5 самолетов/год;
- период нарастания расчетной группы ВТС — 4 года;
- фонд запасных двигателей — 5% от общего числа двигателей в эксплуатации;

- межремонтный и назначенный ресурсы двигателя — 5000 ч., 10 000 ч.;
- наработка на досрочный съем изменяется в диапазоне от 8 000 ч. до 12 000 ч.;
- продолжительность замены неисправного двигателя — 3 часа;
- продолжительность аварийно-восстановительного и капитального ремонтов — 100 суток;
- среднегодовой налет 1 ВТС — 800 ч.

В результате проведенных расчетов, средние за период моделирования исправности парка двигателей и расчетной группы ВТС составили 95,2% и 96,2% соответственно; количество невыполненных обращений на склад — 207 раз; количество аварийно-восстановительных и капитальных ремонтов — 134 и 151 штук соответственно; количество списанных двигателей — 93 штуки. Затраты заказчика на приобретение парка двигателей и услуги по ремонту составили 26,1 млрд. руб.

Текущие исправности парка двигателей и расчетной группы ВТС представлены на рисунках 1 и 2 соответственно. Несмотря на довольно высокие средние показатели исправности, в процессе эксплуатации двигателей присутствовали моменты, когда текущая исправность снижалась до 70% и ниже. Это связано с массовым отходом двигателей в капитальный ремонт. В таких случаях для поддержания исправности расчетной группы ВТС использовались запасные двигатели со склада. Однако и оптимального с точки зрения затрат заказчика размера фонда запасных двигателей было недостаточно. Как видно из рисунка 3, в некоторые моменты дефицит запасных двигателей доходил до 9 штук.

Далее, на рисунке 4 представлен график текущих затрат заказчика на услуги по ремонту парка двигателей. «Всплески» единовременных затрат от 100 до 500 млн. руб. также вызваны отходом двигателей в аварийно-восстановительные и капитальные ремонты и необходимостью закупки новых двигателей взамен исчерпавших назначенный ресурс. Учитывая ограниченность бюджетных ассигнований в моменты резкого роста текущих затрат у заказчика может возникнуть нехватка денежных средств, что не позволит своевременно выполнить ремонты двигателей и вызовет снижение уровня исправности расчетной группы ВТС.

При этом в рамках контрактов ТМС у заказчика существует единственный способ повышения исправности расчетной группы ВТС — увеличение фонда запасных двигателей, что значительно повышает эксплуатационные затраты заказчика.

Таким образом, возможными целями контракта РВС и включенными в него показателями деятельности могут быть повышение уровня исправности парка двигателей и расчетной группы ВТС при более низких затратах заказчика. Для этого в контрактах РВС предусмотрены эффективные механизмы: в отличие от традиционных контрактов, они содержат финансовые и нефинансовые стимулы, мотивирующие подрядчика к проведению мероприятий, направленных на достижение целей контракта. Такими мероприятиями могут быть: проведение НИОКТР для повышения надежности и ремонтнопригодности двигателей, инвестиции в увеличение ремонтных мощностей, расширение сети сервисных центров и создание резервного склада двигателей на базе подрядчика и т.п. При этом важнейшее значение имеет определение размера платежа подрядчику: он должен обеспечить заинтересованность подрядчика в достижении показателей деятельности не ниже установленного контрактом уровня и, в то же время, равномерность и предсказуемость текущих затрат для заказчика.

Предлагается использовать функцию платежа следующего вида:

$$P_i = f - \vartheta(I_{RG}^{zad} - I_{RG}^i),$$

где:

i — отчетный период, например, месяц;

P_i — размер платежа в месяце i ;

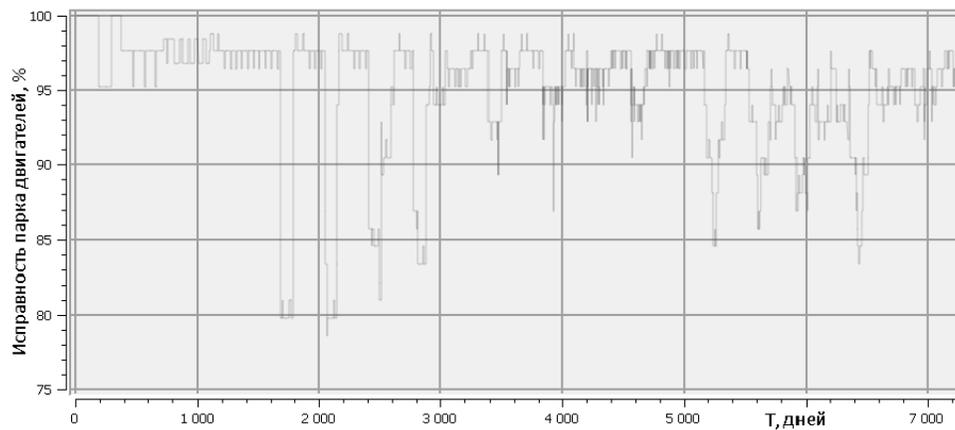


Рис. 1. График текущей исправности парка двигателей

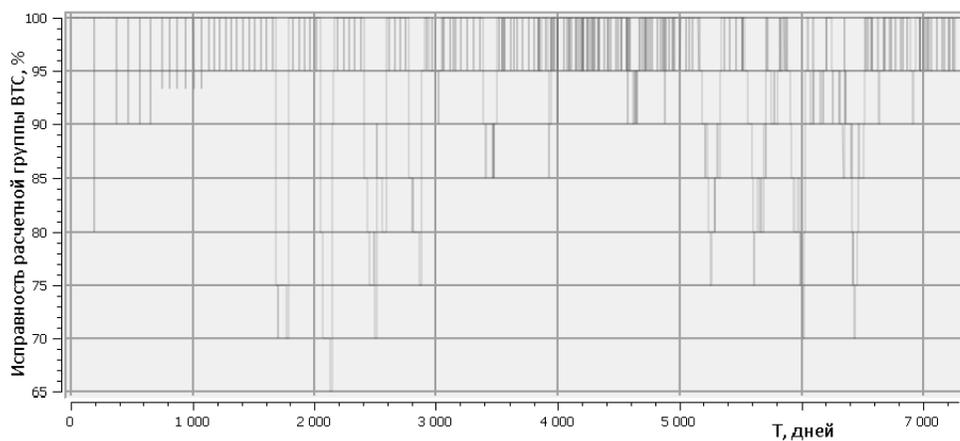


Рис. 2. График текущей исправности расчетной группы ВТС

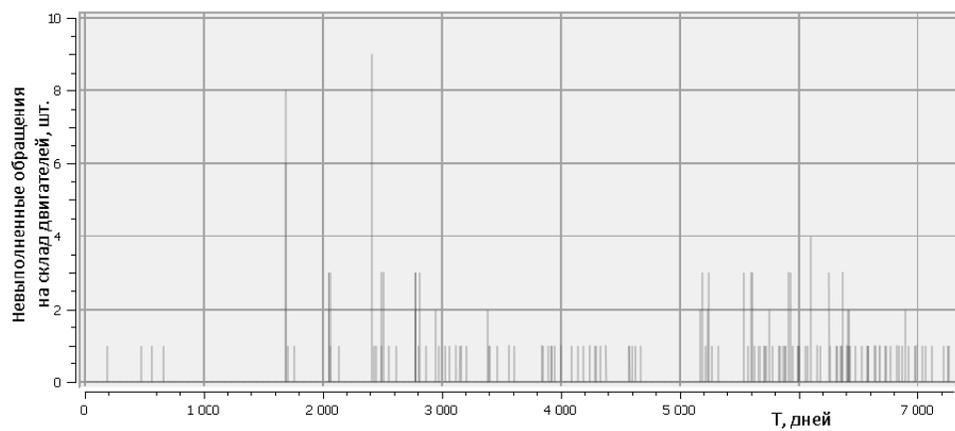


Рис. 3. График невыполненных обращений на склад двигателей

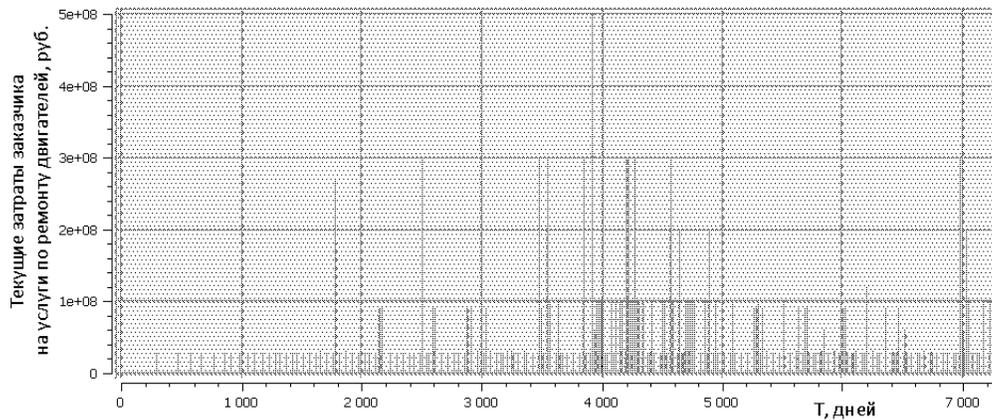


Рис. 4. График текущих затрат заказчика на услуги по ремонту двигателей

f — фиксированная часть платежа;

ϑ — штрафная функция за отклонение исправности расчетной группы ВТС от заданного уровня;

I_{RG}^{zad} — заданный по условиям контракта РВС уровень исправности расчетной группы ВТС;

I_{RG}^i — средний уровень исправности расчетной группы ВТС в месяце i .

Тогда взаимоотношения между сторонами контракта РВС строятся следующим образом:

1) Заказчик предлагает подрядчику функцию платежа P_i с параметрами f и ϑ , обеспечивающими ему минимум суммарных затрат на сервисное обслуживание парка двигателей:

$$(f, \vartheta) : TC_{zak}^{PBC} = \sum_{i=1}^T P_i(f, \vartheta) \rightarrow \min,$$

$$\begin{cases} I_{RG}^{sr.} \geq I_{RG}^{zad}, \\ TC_{zak}^{PBC} \leq TC_{zak}^{TMC}, \end{cases}$$

где:

$I_{RG}^{sr.}$ — средняя за период действия контракта РВС исправность расчетной группы ВТС;

TC_{zak}^{PBC} — суммарные затраты заказчика на сервисное обслуживание в условиях контракта РВС;

TC_{zak}^{TMC} — суммарные затраты заказчика на приобретение и ремонт парка двигателей в условиях контрактов ТМС.

2) Подрядчик в ответ определяет такое сочетание показателя надежности двигателя и размера фонда резервных двигателей, которое обеспечивает ему максимум прибыли:

$$(T_{dsd}^{opt}, n_{PBC}^{opt}) : Pr_{podr} = \sum_{i=1}^T P_i(f, \vartheta) - TC_{podr}^{PBC}(T_{dsd}, n_{PBC}) \rightarrow \max,$$

где:

T_{dsd} — наработка на досрочный сьем — показатель надежности двигателя;

n_{PBC} — размер фонда резервных двигателей на базе подрядчика;
 TC_{podr}^{PBC} — суммарные затраты подрядчика на сервисное обслуживание парка двигателей в условиях контракта PBC;

Pr_{podr} — прибыль подрядчика, полученная по условиям контракта PBC.

3) В результате общая задача поиска оптимальных условий контракта PBC выглядит следующим образом:

$$(f, \vartheta) : TC_{zad}^{PBC} = \sum_{i=1}^T P_i(f, \vartheta) \rightarrow \min,$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{RG}^{str.} \geq I_{RG}^{zad}, \\ TC_{zak}^{PBC} \leq TC_{zak}^{TMC}, \\ (T_{dsd}^{opt}, n_{PBC}^{opt}) \in \arg \max \left(\sum_{i=1}^T P_i(f, \vartheta) - TC_{podr}^{PBC}(T_{dsd}, n_{PBC}) \right). \end{array} \right.$$

Для решения данной задачи необходимо модифицировать описанную выше экономико-математическую модель: ввести алгоритмы работы резервного склада двигателей на базе подрядчика и повышения показателей надежности двигателей. Результаты моделирования будут приведены в следующих работах авторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aguilar M., Estrada G.C., Myers J.J. Decision-support quantitative models for valuing incentives in performance-based contracts. 2005. 112 p.
2. Стрекоз В.Б., Назаренко Ю.А. Послепродажное обеспечение эксплуатации ВВТ: ориентация на конечный результат // Двигатель. 2013. № 1. С. 4–6.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (договор №02.G25.31.0016) в рамках реализации Постановления Правительства РФ №218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

Поступила в редакцию 5 мая 2015 г.

Asadullin M.R., Simonov P.M. ECONOMICAL AND MATHEMATICAL MODELING AS A METHOD FOR SETTING THE OPTIMAL TERMS OF PERFORMANCE-BASED CONTRACTS

This article describes the foreign positive experience of applying the performance-based contracts in the after-sales service supply of aviation technique. The modeling results of operating with aircraft engines under the traditional (time & material) contracts are shown. The authors formulate the problem of setting the optimal terms of performance-based contracts.

Key words: performance-based contract; economical and mathematical model of operating with aircraft engines; formulation of the problem of setting the optimal terms of performance-based contract.

Асадуллин Марсель Рауфович, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Российская Федерация, аспирант кафедры информационных систем и математических методов в экономике, e-mail: asadullin-mr@avid.ru

Asadullin Marsel Raufovich, Perm State National Research University, Perm, the Russian Federation, Post-graduate Student of the Information Systems and Mathematical Methods in Economics Department, e-mail: simpm@mail.ru

Симонов Петр Михайлович, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Российская Федерация, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры информационных систем и математических методов в экономике, e-mail: simpm@mail.ru

Simonov Pyotr Mikhailovich, Perm State National Research University, Perm, the Russian Federation, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Information Systems and Mathematical Methods in Economics Department, e-mail: simpm@mail.ru

УДК 517.977.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ УПРАВЛЯЕМОСТИ НЕГОЛОНОМНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ОПИСЫВАЮЩЕЙ ДВИЖЕНИЕ СНЕЙКБОРДА

© Т.Н. Астахова

Ключевые слова: дискретно-переключаемая функция управления; метод возврата; неголономная система; снейкборд; управляемость.

Рассмотрена задача конструктивной проверки локальной управляемости для неголономной системы, описывающей движение снейкборда, с использованием дискретно-переключаемых функций управления.

Исследование задачи управления для класса неголономных систем является проблемой первостепенной важности, особенно в связи со стремительным развитием робототехники. Механические системы при моделировании движения различных колесных мобильного роботов и роботов-манипуляторов описываются в общем случае нелинейными неголономными системами управления [1]. В большинстве случаев существующие необходимые, а также достаточные условия управляемости для неголономных систем описываются в терминах свойств соответствующих алгебр Ли, что не позволяет конструктивно проверить управляемость нелинейной системы, т. к. не существует эффективной оценки числа итерированных скобок Ли при проверке соответствующего рангового условия. В данной работе использован иной метод исследования управляемости неголономных систем — метод возврата [2].

Пусть задана система управления

$$\dot{x} = f(x, u), \quad x \in D \subseteq \mathbb{R}^n, \quad u \in U \subseteq \mathbb{R}^m, \quad (1)$$

где x — фазовый вектор, u — управление; точка обозначает производную по времени t . Будем предполагать, что D — область, $0 \in D$, U — замкнутая область, $f \in C^1(D \times U)$.

Будем использовать следующее определение управляемости:

О п р е д е л е н и е. Система (1) называется *управляемой*, если для любых точек $x^{(0)}, x^{(1)} \in D$ найдутся $\tau > 0$, $u \in L_\infty([0, \tau] \rightarrow U)$, при которых система (1) имеет решение $x(t)$, $t \in [0, \tau]$, удовлетворяющее граничным условиям $x(0) = x^{(0)}$, $x(\tau) = x^{(1)}$.

Если в определении возможно выбрать управление для любых $x^{(0)}, x^{(1)}$ из некоторой ε -окрестности точки $x = 0$, то система (1) называется *локально управляемой* в точке $x = 0$.

Напомним теорему, предложенную в работе [3], необходимую для дальнейшего исследования: