

УДК 004.942

Ю.А. Романенков, В.М. Вартамян

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ СЕРВИСНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ИНЖЕНЕРНЫХ ОБЪЕКТАХ

Публикация посвящена задаче оптимального планирования комплекса сервисных мероприятий на инженерных объектах, информация о режимах деятельности которых представлена в виде временных рядов данных. Рассмотрены возможности использования при решении подобных задач современных средств анализа и прогнозирования временных рядов. Предложенный подход проиллюстрирован примером.

Ключевые слова: планирование сервисных мероприятий, анализ временных рядов, метод прогнозирования.

Введение

Постановка проблемы. При управлении и обслуживании современных инженерных объектов и систем, таких как системы водо-, энерго- и тепло-снабжения, коммуникационные сети и т.п., может возникать задача планирования сервисных мероприятий. Подобная задача является многофакторной, а в случае оптимизационной постановки и многокритериальной, поэтому для каждого объекта должна быть формализована с учетом особенностей конкретного объекта, условий его функционирования, а также конечной цели сервисных мероприятий. В рамках данной статьи будем рассматривать ситуацию, характеризующуюся следующими особенностями.

1) Информация об объекте или процессе доступна в виде временного ряда, состоящего из значений некоего показателя, характеризующего эксплуатационный аспект состояния объекта. Например, для энергосистемы таким показателем может быть количество одновременно подключенных потребителей, отбираемая мощность и т.п. Для информационной системы в качестве примера такого показателя можно привести количество пользователей в конкретный момент времени, количество параллельных запросов и т.п.

2) Никаких предварительно разработанных моделей, описывающих наблюдаемый процесс, в распоряжении исследователя не имеется. То есть, статистическая информация в виде временного ряда является единственным объективным источником для планирования.

3) Комплекс сервисных мероприятий представляет собой последовательность необходимых регулярных регламентных технологических операций, направленных на поддержание работоспособности инженерной системы или объекта. При этом допускается перенос начала мероприятий внутри известного временного интервала, а продолжительность самих сервисных мероприятий заранее известна и постоянна.

Анализ последних исследований и публикаций. Задачи подобного рода в разных интерпретациях возникают в процессе планирования деятельности организаций. Подобные постановки встречаются в системах массового обслуживания [1], а также в теории исследования операций [2]. Особенности конкретных объектов накладывают определенные ограничения и требования на методики и средства решения задач подобного рода, поэтому одной из главных целей исследования является комплексность предлагаемых рекомендаций, а также возможность регулярного корректного их использования в процессе принятия управленческих решений.

Постановка задачи. Формализация описанной выше задачи может привести к следующей математической постановке задачи.

Пусть значения временного ряда доступны в дискретные моменты времени $t = 1, 2, \dots, T$. Обозначим временной ряд $Z(t) = z(1), z(2), \dots, z(T)$. В момент времени T необходимо определить прогнозное значения показателя $\hat{Z}(t)$ в моменты времени $t = T+1, T+2, \dots, T+P$ (рис. 1). Момент времени T называется моментом прогноза, а величина P – временем упреждения [3] или горизонтом прогноза. Затем на горизонте прогноза длиной P необходимо отыскать вариант размещения отрезка длиной τ , обеспечивающий минимальный интеграл прогнозной функции $\hat{Z}(t)$ на этом отрезке

$$\int_{t^*}^{t^* + \tau} \hat{Z}(t) dt \rightarrow \min, \quad (1)$$

где t^* – момент начала отрезка (рис. 2).

Основная часть

Общую схему исследования можно представить, как показано на рис. 3. Опишем суть этапов оптимального планирования сервисных мероприятий на инженерных объектах.

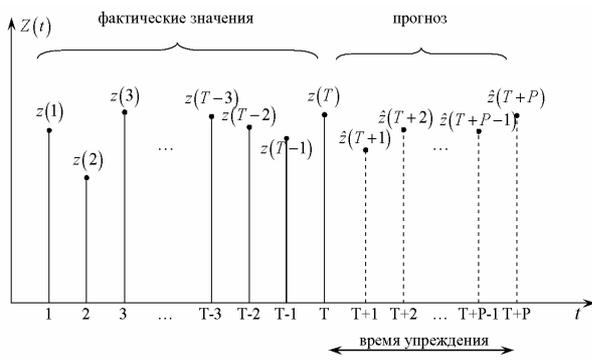


Рис. 1. Иллюстрация задачи прогнозирования по временному ряду

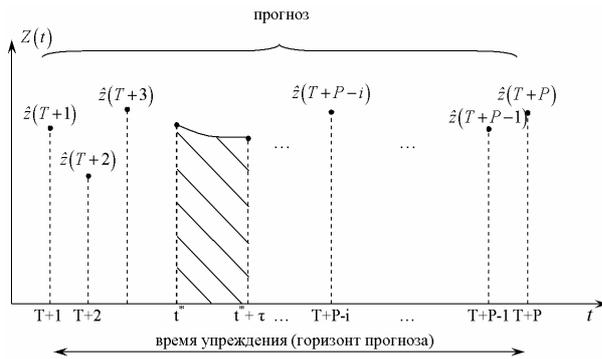


Рис. 2. Иллюстрация задачи размещения сервисного интервала на горизонте прогноза

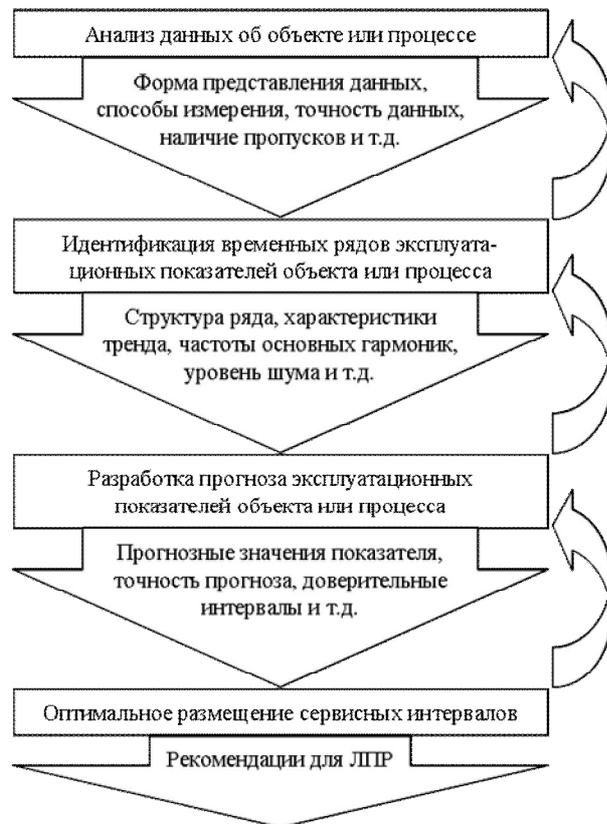


Рис. 3. Оптимизационная модель планирования сервисных мероприятий на инженерных объектах

Анализ данных об объекте или процессе. Данные об эксплуатационном состоянии объекта или процес-

са в реальных инженерных системах могут быть получены из одного или нескольких (при дублировании или резервировании) источников; они могут либо измеряться приборами непосредственно (например, электрические характеристики в энергосетях), либо вычисляться косвенно. В зависимости от этих особенностей, исследователю может быть известна информация о способах измерения, а следовательно, и форма представления данных (детерминированная, интервальная, нечеткая и т.д.), при этом важное значение имеет точность данных (например, инструментальные и методические погрешности).

Идентификация временных рядов эксплуатационных показателей объекта или процесса. Идентификация временных рядов с целью выявления структуры ряда может выполняться любым из известных методов, например, авто-регрессии, разложения Фурье, вейвлет-преобразования, параметрической регрессии, линейных фильтров.

Одним из наиболее перспективных, по мнению авторов, является метод «Гусеница»-SSA [4, 5]. Этот современный интерактивный метод обладает широкими возможностями для анализа и прогнозирования временных рядов. К тому же спектр базисных функций, используемых при разложении ряда, шире, чем у разложения Фурье, что имеет значительное практическое значение при анализе процессов, априорная информация о которых отсутствует.

Разработка прогноза эксплуатационных показателей объекта или процесса. Среди всех методов прогнозирования при решении поставленной задачи могут использоваться только те, которые способны обеспечить необходимый наперед заданный горизонт прогноза и удовлетворительную точность при наличии выборки конечной длины.

При этом в ряде практических задач объем статистической выборки данных может оказаться недостаточным для корректного применения традиционных методов. Поэтому все большее практическое значение будут иметь разного рода комбинированные методы, с одной стороны сочетающие в себе преимущества традиционных методов прогнозирования, а с другой – сводящие к минимуму их же недостатки. Примером такого подхода, может служить метод, разработанный авторами и описанный в [6].

Отметим, что постановка задачи прогнозирования не может быть корректной без формулирования и проверки исходных гипотез, естественным образом ограничивающих класс процессов, подлежащих прогнозированию. Одним из вариантов набора таких гипотез может выступать следующий.

H_1 : процесс характеризуется моментным, одномерным, равноотстоящим, полным временным рядом.

H_2 : динамика изменения показателя носит закономерный (детерминированный) характер.

Н₃: процесс характеризуется инерционностью:

– первого рода – инерционностью взаимосвязей, т.е. сохранением в основных чертах механизма формирования явления;

– второго рода – инерционностью в развитии отдельных сторон процессов, т.е. некоторой степенью сохранения их характера (темпов, направления, изменчивости основных количественных показателей) на протяжении сравнительно длинных хронологических отрезков.

Оптимальное размещение сервисных интервалов. На предыдущем этапе получены прогнозные оценки эксплуатационных показателей на всем горизонте прогноза в виде дискретной или непрерывной функции (рис. 2).

В случае, если информация о процессе доступна в виде нескольких эксплуатационных показателей, т.е. процесс описывается многомерным временным рядом, возникает задача многомерной оптимизации. Будем считать, что известна функция свертки, позволяющая описать процесс единственным результирующим эксплуатационным показателем, будущие дискретные значения которого $\hat{Z}(t)$ становятся известными в результате прогнозирования. Предположим также, что продолжительность сервисного интервала τ кратна периоду дискретизации t .

Тогда выражение (1) может быть представлено в виде конечной суммы

$$S_{\tau}(t^*) = \sum_{i=t^*}^{t^*+\tau-1} \hat{Z}(i) \rightarrow \min, \quad (2)$$

где t^* – момент начала сервисного интервала (рис. 2), $S_{\tau}(t^*)$ – ряд значений конечных сумм длиной τ из ряда прогнозных значений $\hat{Z}(t)$.

При наперед заданном значении продолжительности сервисного интервала τ зависимость $S_{\tau}(t^*)$ от момента начала сервисного интервала t^* можно изобразить в виде графика (рис. 4). Момент времени T^* , обеспечивающий минимум $s_{\tau}(T^*) = \min_{i=T+1}^{T+P-\tau} (s_{\tau}(i))$, и будет являться оптимальным временем начала сервисных мероприятий продолжительностью τ .

Пример. Известны данные о загрузке коммерческого сервера одной из харьковских компаний, работающих на рынке интернет-продаж (рис. 5). Величина, отложенная по горизонтальной оси на рис. 5 – отмасштабированное количество пользователей, одновременно пользующихся услугами сервиса. Представлена статистика за месяц с интервалом в 4 часа.

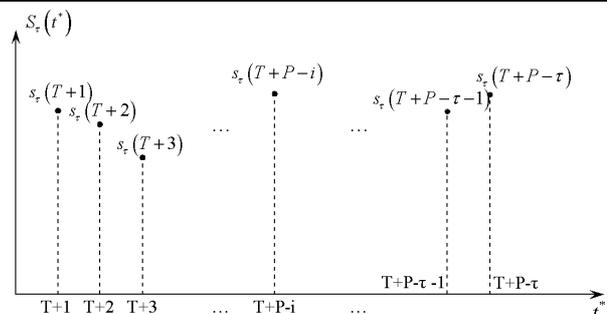


Рис. 4. Иллюстрация зависимости величины $S_{\tau}(t^*)$ от момента начала сервисного интервала t

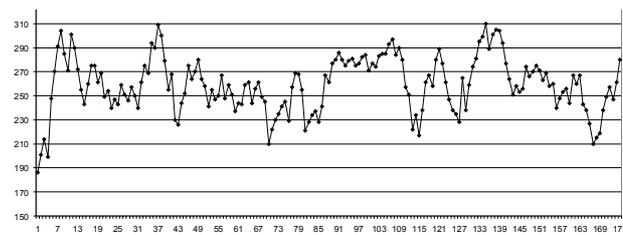


Рис. 5. Статистика обращений к интернет-сервису

Необходимо определить оптимальное время начала сервисных мероприятий T^* в течении ближайших 15 суток, длительностью в 16 часов ($\tau = 4$). При этом известно, что вероятность сбоя при обращении к сервису в это время возрастает втрое по отношению к штатному режиму работы. Анализ и прогнозирование ряда выполним методом «Гусеница»-SSA, с помощью программы CaterpillarSSA 3.40 Standard F Edition (рис.6). Ряд разложен с окном в 44 интервала и восстановлен по 10 первым компонентам.

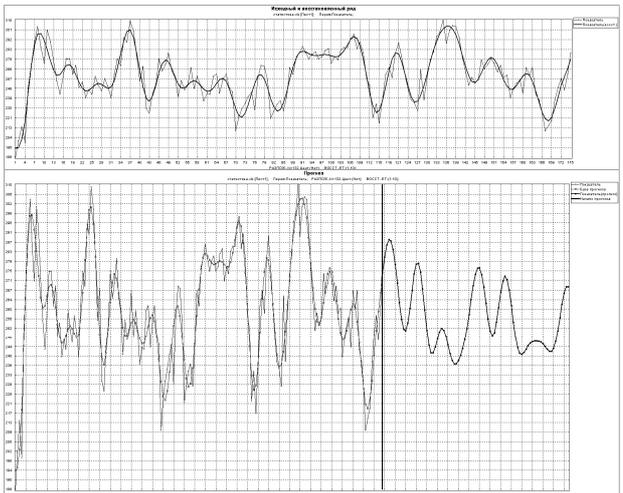


Рис. 6. Анализ и прогнозирование ряда с помощью программы CaterpillarSSA 3.40

Рассчитаем величину определенных интегралов для прогнозных значений показателя, аппроксимированных кусочно-линейной функцией для сервисных интервалов длиной в 16 часов ($\tau = 4$), 24 часа ($\tau = 6$) и 48 часов ($\tau = 12$). Результаты представлены на рис. 7.

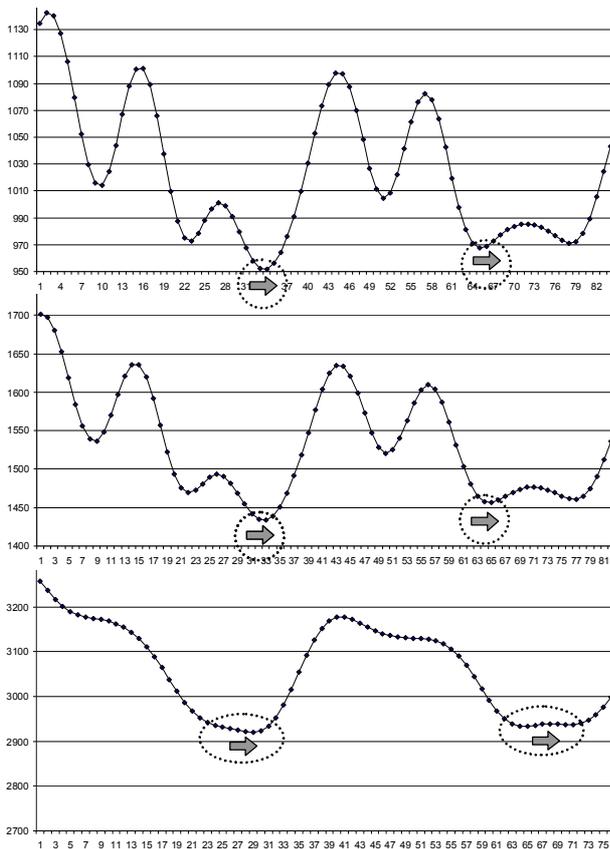


Рис. 7. Зависимость определенного интеграла прогнозной функции от момента начала сервисных мероприятий для $\tau = 4$, $\tau = 6$ и $\tau = 12$

Таблица 1

Наиболее выгодные моменты начала сервисных мероприятий

	$\tau = 4$	$\tau = 6$	$\tau = 12$
Оптимальный момент T^*	33-34	32-33	23-31
Резервный момент	65-66	64-65	63-72

Наиболее выгодные моменты начала сервисных мероприятий на всем диапазоне прогнозирования представлены в табл. 1. Из рис. 7 видно, что на всем горизонте прогнозирования имеется шесть локальных минимумов, два из которых могут быть

выбраны в качестве оптимального и резервного момента начала сервисных мероприятий. В данном контексте под резервным понимаем момент, близкий по характеристикам к оптимальному, но отстоящий от него более чем на величину τ .

Выводы

Таким образом, в статье предложена оптимизационная модель планирования сервисных мероприятий на инженерных объектах, информация о которых представлена в виде временных рядов. Указаны и проиллюстрированы преимущества использования средств анализа и прогнозирования временных рядов при решении задачи оптимального планирования расписания сервисных мероприятий на инженерных объектах. Достоинством предлагаемого подхода является наглядность результатов планирования, что способствует гармонизации процесса принятия управленческих решений в рамках рассмотренной задачи.

Список литературы

1. Гнеденко Б.В. Введение в теорию массового обслуживания / Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1987. – 336 с.
2. Давыдов Э.Г. Исследование операций / Э.Г. Давыдов. – М.: Высш. школа, 1990. – 382 с.
3. Бокс Дж., Дженкинс Г.М. Анализ временных рядов, прогноз и управление / Дж. Бокс, Г.М. Дженкинс. – М.: Мир, 1974. – 406 с.
4. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: Учеб. пос. / Н.Э. Голяндина. – СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. – 76 с.
5. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: прогноз временных рядов: Учеб. пос. / Н.Э. Голяндина. – СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. – 52 с.
6. Оценка частотных параметров модели Тейла-Вейджа в задачах краткосрочного прогнозирования / В.М. Вартамян, Ю.А. Романенков, Д.С. Ревенко, В.Ю. Кащеева // Східно-Європейський журнал передових технологій. – X, 2011. – Вип. 1/5(49). – С. 49-54.

Поступила в редколлегию 24.12.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Шостак, Национальный аэрокосмический университет «Харьковский авиационный институт», Харьков.

ОПТИМІЗАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПЛАНУВАННЯ СЕРВІСНИХ ЗАХОДІВ НА ІНЖЕНЕРНИХ ОБ'ЄКТАХ

Ю.О. Романенков, В.М. Вартамян

Публікація присвячена задачі оптимального планування комплексу сервісних заходів на інженерних об'єктах, інформація про режими діяльності яких представлена у вигляді часових рядів даних. Розглянуті можливості використання при рішенні подібних задач сучасних засобів аналізу та прогнозування часових рядів. Запропонований підхід проілюстрований прикладом.

Ключові слова: планування сервісних заходів, аналіз часових рядів, метод прогнозування.

OPTIMIZATION MODEL OF PLANNING OF SERVICE MEASURES ON ENGINEERINGS OBJECTS

Yu.A. Romanenkov, V.M. Vartanyan

A publication is devoted the task of the optimum planning of complex of service measures on engineering's objects, information about the modes of activity of which is presented as temporal rows of information. Possibilities of using for the decision of similar tasks of modern facilities of analysis and prognostication of temporal rows are considered. Offered approach illustrated an example.

Keywords: planning of service measures, analysis of temporal rows, method of prognostication.