

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОСТАВОК В УСЛОВИЯХ КОЛЕБАНИЙ СПРОСА

© 2011 Б.А. Горлач, Г.Л. Савельев

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Для установления закономерностей изменения процессов, представленных в виде статистического материала, предлагается использовать аппарат гармонического анализа. Рассмотрен пример формирования тренда реального процесса в виде суммы квадратного полинома и тригонометрического многочлена. Решена задача рационального распределения объемов поставок сырья между арендуемым и собственным транспортом предприятия.

Тренд, тригонометрический многочлен и полином, случайная и колебательная составляющие, случайный процесс, прогноз, доверительный интервал, спрос, поставки, ресурс, оптимизация.

Введение. Колебательный характер функций, описывающих реальные экономические процессы, создает дополнительные трудности при их прогнозировании, в частности, службам снабжения, обеспечивающим предприятие материалами, необходимыми для его производственной деятельности [1].

Решение задачи управления поставками напрямую связано с закономерностями изменения потребности предприятия в сырье. Такие закономерности могут быть установлены путём обработки статистических данных и составления на их основе прогноза изменения потребностей. Статья состоит из двух частей. В первой части устанавливается закономерность изменения случайного процесса с привлечением аппарата гармонического анализа. Этот аппарат нередко используется в экономических задачах для аппроксимации функций. Так, в работе [4] используется сумма синусов, а для лучшего приближения варьируются два параметра: частота и сдвиг по фазе. В отличие от упомянутой работы в предлагаемой статье в тригонометрическом ряде используются и синусы, и косинусы, а в составляющих ряда варьируется только частота. Коэффициенты ряда Фурье при этом вычисляются по формулам, приспособленным для дискретно заданных функций. Исследования сопровождаются

примером обработки статистического материала реального экономического процесса. Во второй части обсуждается проблема определения рациональных способов поставок сырья, которые могут осуществляться собственным и арендуемым у других предприятий транспортом.

1. Построение математической модели случайного процесса. Предполагается, что задана совокупность статистических данных $Y_i = Y(t_i)$, представляющих зависимость количества ресурса Y_i , требуемого предприятию в каждый i -й ($i = \overline{1, N}$) момент времени t (в предлагаемой работе i – порядковый номер месяца). В работе значения функций при фиксированных значениях времени t_i помечаются индексом i .

Существующие математические модели, описывающие закономерности изменения показателей $Y(t)$ экономических процессов, представляются в виде совокупности трёх компонент: основной тенденции (базисного тренда) $Y_0(t)$, колебательной (сезонной) составляющей $S(t)$ и случайной величины $E(t_i)$. При этом $Y_0(t)$ и $S(t)$ представляются как непрерывные функции от времени, в отличие от дискретно зависящих от времени функций

$E(t_i)$ и $Y(t_i)$. Выделение из общей функциональной зависимости $Y_i = Y(t_i)$ непрерывных функций, с приемлемой точностью описывающих основные тенденции протекания процессов, позволяет применить к анализу экономических процессов аппарат дифференциального исчисления. Отмеченная особенность использована во второй части работы при оптимизации процесса поставок.

В статье используется аддитивная модель – модель, в которой перечисленные составляющие суммируются:

$$Y(t) + S(t) + E(t). \quad (1)$$

Представление (1) условно. Закономерность (тренд) изменения экономического процесса определяет совокупность двух функций: $Y_0(t)$ и $S(t)$. Тем не менее, разделение тренда на две составляющие обусловлено удобством анализа процесса. В данной статье также используется такое представление. Составляющая $Y_0(t)$, определяющая основную тенденцию (базисный тренд), обычно подбирается так, чтобы она, во-первых, не противоречила основной тенденции изменения исследуемой функции и, во-вторых, не затрудняла проведение её анализа. Наибольшее распространение при описании базисных трендов в задачах исследования экономических процессов получили линейная функция $Y_0(t) = at + b$ и квадратичная:

$$Y_0(t) = at^2 + bt + c, \quad (2)$$

что объясняется их простотой.

Для дальнейших преобразований и анализа в представлении (1) удобно перейти к относительным (нормализованным) величинам:

$$y(t) + s(t) + \varepsilon(t), \quad (3)$$

где $y(t) = Y(t)/Y_0(t)$, $s(t) = S(t)/Y_0(t)$,

$$\varepsilon(t_i) = E(t_i)/Y_0(t).$$

Необходимо отметить, что при переходе к относительным величинам (3) всегда $y_0(t) = 1$.

Колебательная составляющая (отношенная к базисному тренду) представляется в виде ряда Фурье [2] с заменой в нем интегралов конечными суммами:

$$s(t) = \alpha_0 + \sum_{k=1}^n (\alpha_k \sin k\zeta + \beta_k \cos k\zeta). \quad (4)$$

Здесь $2n < N - 1$; $\zeta = \frac{2\pi}{T_k}t$; T_k – период колебаний k -го интервала изменения времени, $t \in [-\pi, \pi]$ на k -том периоде.

Коэффициенты разложения (4) рассчитываются по следующим формулам:

Коэффициенты разложения (4) рассчитываются по следующим формулам:

$$\alpha_0 = \frac{1}{2n+1} \sum_{i=-n}^n (y_i - 1);$$

$$\alpha_k = \frac{2}{2n+1} \sum_{i=1}^n (y_i - 1) \sin k\zeta_i; \quad (5)$$

$$\beta_k = \frac{2}{2n+1} \sum_{i=1}^n (y_i - 1) \cos k\zeta_i.$$

Алгоритм определения зависимости $s(t)$ строится итерационным методом. Для этого предварительно определяется базисный тренд $Y_0(t)$ и находятся относительные величины исходной итерации $y_i = Y_i/Y_0$, $y_i - 1 = s_i + \varepsilon_i$ в каждой точке $t_i \in \{t_1, \dots, t_N\}$. Дальнейшее описание проводится с использованием статистических данных конкретного предприятия, представленных в таблице 1 и на графике рисунка 1 в виде зависимости количества поставляемых материалов Y_i от времени t_i .

Характер поведения статистических данных позволяет высказать предположение о том, что базисный тренд следует выбрать не в виде линейной, а в виде параболической функции (2). Для этой функции значение коэффициента детерминации R^2 [3], характеризующего отклонения случайной величины от тренда, хотя и ниже (и намного) величины 0,95 (в противном случае отклонения можно считать случайными), но значительно выше соответствующего коэффициента для линейного тренда.

Таблица 1. Исходные статистические данные

1 год		2 год		3 год		4 год		5 год		Прогноз (6 год)		
t_i	Y_i	t_i	Y_i	t_i	Y_i	t_i	Y_i	t_i	Y_i	Y	$Y -$	$Y +$
1	138	13	151	25	194	37	195	49	181	181	139	223
2	165	14	192	26	220	38	233	50	237	179	137	221
3	201	15	232	27	262	39	256	51	229	242	200	283
4	272	16	275	28	277	40	211	52	240	260	218	301
5	293	17	287	29	280	41	301	53	352	277	236	319
6	313	18	326	30	338	42	337	54	241	285	244	326
7	333	19	339	31	346	43	242	55	264	297	256	338
8	314	20	364	32	414	44	310	56	335	322	281	362
9	367	21	392	33	416	45	305	57	352	333	293	374
10	360	22	399	34	437	46	310	58	315	291	251	331
11	305	23	330	35	355	47	294	59	224	294	254	334
12	339	24	367	36	395	48	257	60	210	280	240	320

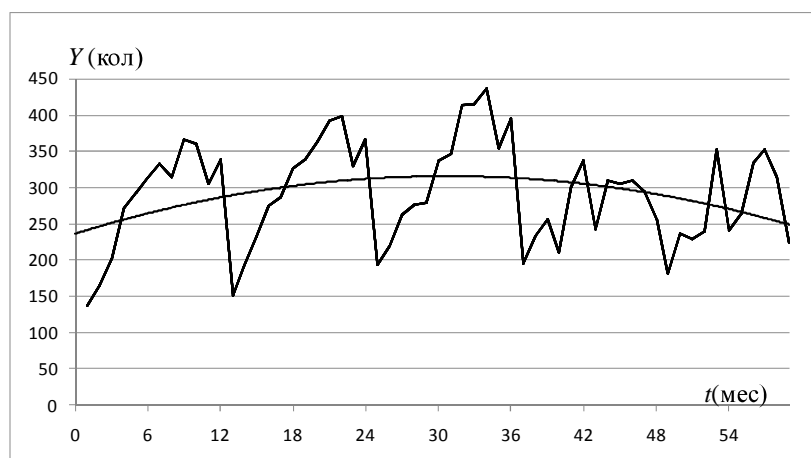


Рис. 1. Статистические данные и базисный тренд

Коэффициенты в зависимости (2) определяются из нормальных уравнений регрессии [3]. После их определения для приведённых статистических данных выражение для базисного тренда принимает вид:

$$Y_0(t) = -0,0223t^2 + 1,6t + 123,6. \quad (6)$$

«Нормализация» статистических данных, представленных на графике ри-

сунка 1, осуществляется делением их на соответствующие значения базисного тренда (6). Полученные значения нанесены в виде точек на график рисунка 2. Горизонтальная прямая – нормализованный базисный тренд; сплошная кривая – тренд с сезонной компонентой, формула для которого будет получена ниже.

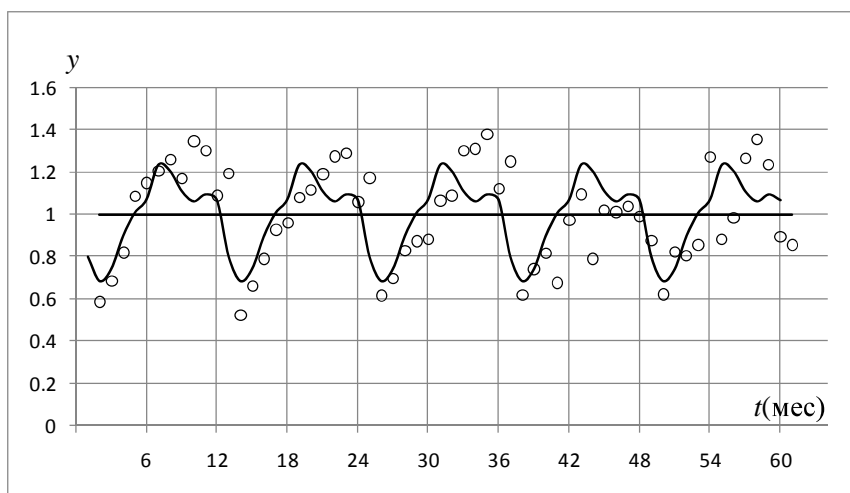


Рис. 2. Нормализованные статистические данные

Нормализованный график имеет две характерные особенности: во-первых, отчетливо прослеживается колебательный характер процесса; во-вторых, период колебаний T_k (промежутки времени между минимальными значениями исследуемой функции) сохраняется на всем интервале изменения времени и равен 12 месяцам.

Для определения колебательной составляющей случайного процесса следует решить вопрос о том, сколько членов гармонического ряда необходимо удержать в разложении (4). Сумма (4) является интерполяционным тригонометрическим многочленом. Если количество слагаемых, удерживаемых в нём, будет равно количеству точек в заданном статистическом множестве, то получаемая таким образом функция $s(t)$ будет проходить через все эти точки, поглотив случайную составляющую. Было бы ошибкой отождествлять такую функцию с трендом. Для решения задачи гармонический ряд следует ограничить таким количеством слагаемых, которые позволят считать случайной величиной разность $y - 1 - s_i = \varepsilon_i$. В качестве признака случайности ε_i может быть выбран, например, коэффициент детерминации

$$R^2 = \frac{\sum_i (s_i)^2}{\sum_i (y_i - 1)^2}, \quad (7)$$

который должен принять значение, большее некоторой критической величины.

Чем ближе R^2 к единице, тем больше вероятность того, что остаток ε является случайной величиной, не оказывающей влияния на тенденцию поведения функции.

Формула (7) отличается от общепринятой записи коэффициента детерминации [3] тем, что для введенных в рассматриваемой работе величин среднее относительное значение базисного тренда равно единице.

Задача определения тренда – функции, описывающей искомую закономерность, – решается последовательными приближениями.

Располагая графиком рисунка 2, можно определить период колебаний: $T_k = 12$ (интервал изменения времени $t_i \in [1, 60]$ содержит 5 подынтервалов).

По условиям рассматриваемой задачи значения показателей времени (порядковые номера месяцев) совпадают с их номерами $i \in [1, 60]$. Имея в виду это обстоятельство, можно перейти к новой независимой переменной

$$\zeta_i = \frac{2\pi}{T_k} t_i = \frac{\pi}{6} i.$$

В исходном, первом приближении определяются коэффициенты (5) при $2n = 60$:

$$\alpha_1^{(1)} = \frac{2}{61} \sum_{i=0}^{60} (y_i - 1) \sin \frac{\pi}{6} i = -0,205;$$

$$\beta_1^{(1)} = \frac{2}{61} \sum_{i=0}^{60} (y_i - 1) \cos \frac{\pi}{6} i = -0,081.$$

Величиной постоянной составляющей α_0 можно пренебречь, поскольку она мала по сравнению с нормализованным значением базисного тренда. Таким образом, в колебательной составляющей тренда остаются два слагаемых:

$$s_i^{(1)} = -0,205 \sin \frac{\pi}{6} i - 0,081 \cos \frac{\pi}{6} i.$$

Следующим шагом в определении закона изменения исследуемой функции является определение коэффициента детерминации (7):

$$(R^{(1)})^2 = \frac{\sum_i (s_i)^2}{\sum_i (y_i - 1)^2} = 0,622.$$

Значение коэффициента детерминации далеко от единицы. Поэтому совокупность остатков $\varepsilon_i^{(1)} = y_i - 1 - s_i^{(1)}$ ($i = \overline{1, n}$) неправомерно считать случайными составляющими процесса.

Требуется перейти к следующему, второму, приближению. Для этого определяются коэффициенты (5) при $k = 2$, после чего находится приращение колебательной составляющей

$$\Delta s_i^{(2)} = -0,020 \sin \frac{\pi}{3} i + 0,072 \cos \frac{\pi}{3} i$$

и колебательная составляющая второго приближения

$$s_i^{(2)} = s_i^{(1)} + \Delta s_i^{(2)}.$$

Коэффициент детерминации второго приближения $(R^{(2)})^2 = 0,707$ приблизился к единице.

Дальнейшие приближения можно осуществлять только до значений $k < 6$. При $k = 6$ аргумент тригонометрических функций становится кратным π и кривая тренда пройдет через все заданные точки. Случайная составляющая в этом случае обратится в нуль, и задача выделения тренда лишится смысла.

Привлечение слагаемых с $k = 1, \dots, 5$ приводит к формуле:

$$\begin{aligned} y(t) = & 1 - 0,205 \sin \frac{\pi}{6} t - \\ & - 0,081 \cos \frac{\pi}{6} t - \\ & - 0,020 \sin \frac{\pi}{3} t + 0,072 \cos \frac{\pi}{3} t - \\ & - 0,026 \sin \frac{\pi}{2} t + 0,059 \cos \frac{\pi}{2} t - \\ & - 0,006 \sin \frac{5\pi}{6} t + 0,020 \cos \frac{5\pi}{6} t + \varepsilon. \end{aligned} \quad (8)$$

При этом коэффициент детерминации $R^2 = 0,84$. То есть только с вероятностью, не превышающей $p = 0,84$, можно считать, что тренд (8) является функцией, описывающей закономерность изменения исследуемого процесса. Для увеличения R^2 можно к сумме (8) добавить слагаемые, в которых, например, методом проб изменяется величина периода T_k .

Переход к относительным величинам (3) позволяет наглядно выявить характерные особенности протекания процесса. В частности, полученные результаты позволяют установить, что нормализованные переменные отличаются, во-первых, стабильностью результатов – один и тот же тренд описывает поведение функции всех пяти рассмотренных периодов; во-вторых, постоянством дисперсии в тех же периодах – случайный процесс гомоскедастичен. Если второе свойство не выполняется, то для обеспечения стабильности следует нормализованную функцию умножить на величины, обратные дисперсии.

Отмеченная стабильность процесса, сохраняемая во всех пяти исследуемых периодах, дает основание составить прогноз, полагая, что и в следующем периоде (шестой год) тенденция сохранится.

Что касается доверительного интервала [3]

$$Y_i \in [Y_i - \delta_i, Y_i + \delta_i], \quad \delta_i = s_i t_{\alpha/2} (n-1), \quad (9)$$

то он для прогнозируемых значений функции определится при соблюдении условий:

– критическое табличное значение критерия Стьюдента $t_{\alpha/2}$ следует выбирать для вероятности, не меньшей 0,84 (вытекает из полученного значения R^2);

– табличные данные для критерия Стьюдента приводятся в справочной литературе только для линейных уравнений регрессии. Поэтому в случае использования табличных данных тренд, строго говоря, следует заменить на подходящую кусочно-линейную функцию;

– величина n , входящая в критерий Стьюдента и в формулу (9), для исследуемого процесса равна 60. Эта величина мало изменяется для прогнозируемых точек и может считаться постоянной.

Описанные условия позволяют вычислить $\delta_i = 0,15$ и считать эту величину неизменяемой при переходе от одной точки временного интервала прогнозирования к другой.

Прогнозируемые величины тренда Y_i , а также величины $Y_i^+ = Y_i + \delta_i$ и $Y_i^- = Y_i - \delta_i$ приведены в последних трех столбцах таблицы 1.

Следует отметить следующее. Значения функции тренда первого приближения (первые три слагаемых правой части (8), включающие единицу, нормализованный базисный тренд и первую гармонику ряда

Фурье) полностью укладываются в доверительный интервал. Это позволяет с большой степенью приближения при исследовании функций, подобных рассмотренной, ограничиваться только этими составляющими.

2. Оптимизация процесса поставок.

Если выделить в нормализованном тренде, график которого изображён на рисунке 2, один полупериод $\zeta = \frac{2\pi}{T}t$, $t \in [-\pi/2; \pi/2]$,

то получится график, изображённый на рисунке 3. Горизонтальная прямая, проходящая через точку $s/\alpha = 0$, – это средняя линия значений $S(\zeta)$, отнесенных к величине $Y_0(t)$ базисного тренда.

Выделенный полупериод относится к слагаемым с синусами гармонического ряда. Такие же графики, но с иными значениями границ интервала изменения ζ описывают поведение других составляющих гармонического ряда и их суммы. Поэтому нижеприведенные рассуждения без труда можно перенести на полупериоды изменения других тригонометрических функции.

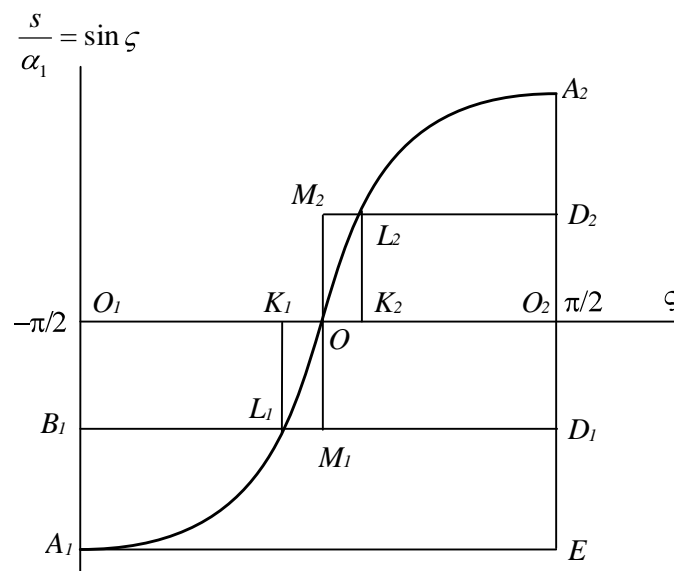


Рис. 3. Полупериод изменения колебательной составляющей тренда

В дальнейших исследованиях обсуждаются только изменяемые во времени относительные характеристики процесса, которые могут быть представлены графиком,

расположенным выше уровня прямой A_1E (рис. 3).

Принимается допущение: стоимость поставляемого ресурса за время Δt для

относительных величин тренда определяются величиной $c(s+1)\Delta t$ (c – стоимость поставки единицы продукции).

Стоимость дискретно задаваемых партий поставок считается равномерно распределенной по времени. При таком условии площади фигур под кривыми соответствуют стоимостям поставок сырья за рассматриваемый промежуток изменения координаты ζ , связанной со временем.

Располагая данными, приведёнными на рисунке 3, менеджмент предприятия должен дать ответ на вопрос: какими средствами и в каких пропорциях следует обеспечить поставку сырья на предприятие. Предполагается, что предприятие имеет возможность содержать свой транспорт для обеспечения поставок материалов, а также может арендовать транспорт у других предприятий в требуемом количестве и на необходимое время. В такой ситуации возникает вопрос о том, в каких пропорциях следует распределить транспортные услуги между собственным и арендуемым транспортом.

При составлении пропорции в поставках сырья следует учитывать несколько факторов, влияющих на показатель экономической эффективности поставок: сроки и частота поставок; стоимость поставок собственным и арендованным транспортом; допустимые сроки и стоимость хранения сырья; обеспеченность предприятия складскими помещениями (возможность создавать необходимый запас); другие показатели.

Далее рассматриваются варианты сокращения транспортных затрат, строящиеся на требовании обеспечения спроса за счёт заблаговременного формирования запаса.

Первый вариант – это равномерная поставка предприятию продукции собственными средствами в количестве, соответствующем на рисунке 3 площади прямоугольника $A_1O_1O_2E$. Интенсивность таких поставок соответствует среднему уровню потребности предприятия.

Количество сырья, соответствующее площади криволинейной фигуры $OL_1A_1O_1$, составляет запас, который далее на следу-

ющем этапе (площадь $OL_2A_2O_2$) полностью пойдёт на нужды производства. Указанные площади, очевидно, равны. Поэтому собственный транспорт предприятия без перебоев полностью обеспечивает продукцией нужды предприятия.

Второй вариант – собственный транспорт обеспечивает только постоянную составляющую потребностей предприятия, соответствующих их минимальному уровню (ниже прямой A_1E). При таком варианте предприятие или недополучает сырьё и срывает планы выпуска продукции, или арендует транспорт у других предприятий.

Вариант аренды транспорта в неизменяемом во времени количестве обеспечивает «покрытие» площади $A_1O_1O_2E$. Эффект от использования этого варианта такой же, как при первом варианте при равенстве стоимости содержания собственного транспорта и стоимости его аренды.

Третий возможный вариант – собственный транспорт удовлетворяет часть потребности предприятия, обеспечивая его поставками, соответствующими уровню прямой B_1D_1 . При этом часть поставляемой продукции (площадь $B_1L_1A_1$) ожидает «своей участи» в складских помещениях, а затем используется предприятием в таком же количестве (площадь $L_2A_2D_2$). Чтобы покрыть свои нужды, предприятие в этом случае должно арендовать транспорт у других организаций. Количество поставляемого арендуемым транспортом сырья должно соответствовать площади прямоугольника $M_1M_2D_2D_1$, так как площади $B_1O_1O_2D_1$ и $M_1M_2D_2D_1$ равны.

Прежде чем решать задачу определения рационального соотношения между количествами своего и арендуемого транспорта, можно отметить, что криволинейные площади OL_1K_1 и OL_2K_2 равны. Поэтому стоимость поставки складированного сырья определяется суммой площадей $Q_1 = L_2A_2D_2$ и $Q_2 = OM_2L_2K_2$.

Для определения значения независимой переменной $\zeta = \tau$, при котором суммарное значение Q площадей Q_1 и Q_2 бу-

дет минимальным, можно определить Q через τ (координата τ_2 соответствует точке K_2 на прямой ζ , а τ_1 – точке K_1):

$$Q = K_2 L_2 A_2 O_2 - K_2 L_2 D_2 O_2 + O M_2 L_2 K_2 = \\ = \int_{\tau}^{\pi/2} \sin \zeta d\zeta - \left(\frac{\pi}{2} - \tau\right) \sin \tau + \tau \sin \tau - \\ - \int_0^{\tau} \sin \zeta d\zeta = 2 \cos \tau - 1 + \left(2\tau - \frac{\pi}{2}\right) \sin \tau.$$

После приравнивания к нулю производной, записанной переменной по τ_2 :

$$Q' = \left(2\tau - \frac{\pi}{2}\right) \cos \tau = 0,$$

находятся три решения полученного уравнения: $\tau_2 = \pi/4$, $\tau_2 = \pi/2$ и $\tau_2 = -\pi/2$.

Первый корень уравнения дает минимальное (искомое) значение стоимости складированного сырья

$$Q^{\min} = Q(\pi/4) = \sqrt{2} - 1 \cong 0,414.$$

Два других корня приводят к локальным максимумам Q :

$$Q_1^{\max} = Q(\pi/2) = \pi/2 - 1 \cong 0,571$$

и

$$Q_2^{\max} = Q(-\pi/2) = 3\pi/2 - 1 \cong 3,713.$$

Варианты оптимизации стоимости складированного сырья рассмотрены при условии непрерывности (или кусочной непрерывности) поставок, и всё складированное сырьё в дальнейших циклах полностью расходуется. Оптимальный с точки зрения стоимости вариант распределения поставок сырья между собственным и арендуемым транспортом сокращает расходы на хранение сырья в $Q_1^{\max} / Q^{\min} = 0,571 / 0,414 \cong 1,38$ раза по сравнению с вариантом использования только собственного транспорта.

Проведенные расчёты позволяют осуществить рациональное управление поставками сырья. Для этого следует перейти к переменной t , определяемой номерами месяцев, кратных 12. Перечисленные ниже значения ζ соответствуют концам месяцев. При $\zeta = 0: 3, 15, \dots$ – март; при $\zeta = \pi/6: 6, 18, \dots$ – июнь; при $\zeta = 3\pi/2: 12, 24, \dots$ – январь (0 – начало января); ...

Результаты, полученные в итоге решения оптимизационной задачи, позволя-

ют выработать рекомендации по распределению ресурсов, направляемых на обеспечение производственного процесса. Согласно расчётам собственный транспорт фирмы должен непрерывно поставлять ресурсы с интенсивностью (в единицу времени) $Y_c = Y_0(1 - \sin \pi/4)$ – соответствует уровню $B_1 D_1$ на рисунке 3. Арендванный транспорт поставляет ресурсы с начала апреля до конца июня.

Таблица 2. Управление поставками

Собственный транспорт	Весь период
Арендванный транспорт	Апрель-июнь

Интенсивность поставок ресурсов арендованным транспортом соответствует разности между уровнями $M_2 D_2$ и $M_1 D_1$. Эту разность определяет удвоенный синус угла $\zeta = \pi/4$, умноженный на коэффициент

$$\alpha_1 = 0,205 : Y_a = 2\alpha_1 \sin \pi/4 = \sqrt{2}\alpha_1.$$

Проведённый анализ ограничен рассмотрением только одной гармоники ряда Фурье. На рисунке 3, отражающем поведение исследуемой функции, эта составляющая описывается синусоидой. При постановке оптимизационной задачи, использующей в алгоритме другие гармоники ряда (8), следует составить соответствующую (8) сумму, аналогичную (9). На следующем этапе решения для каждого характерного i -го отрезка изменения переменной ζ находятся такие значения τ_1^i и τ_2^i , которые обращают в нуль частные производные по этим переменным от составленной суммы. Решение задачи с привлечением других гармоник не вызовет принципиальных трудностей, хотя объём вычислений в таких задачах увеличивается с увеличением количества гармоник.

Тенденции совершенствования процесса поставок в мировой практике показывают стремление к использованию системы «Just in Time» – точно в срок. Схема планирования таких поставок на графике рисунка 3 будет представлять собой совокупность кусочно-постоянных функций (прямоугольников), площади под которыми равны стоимости поставок целого ко-

личества партий сырья (количество пропорционально площади прямоугольников).

Заключение. Приведенные в работе результаты имеют следующие особенности:

– показано, что количество гармоник в разложении тренда в тригонометрический ряд должно быть меньше количества исходных данных; разность между значениями функции, определяемыми усеченным гармоническим рядом, и статистическими данными определяет случайную компоненту;

– осуществленный переход в аддитивном представлении (1) функций к нор-

мализованным величинам (3) позволяет, в частности, визуально определить характерные особенности описываемого случайного процесса;

– предложен алгоритм рационального распределения поставок между собственным транспортом предприятия и транспортом, арендованным у других предприятий; алгоритм опирается на использование характерных особенностей нормализованного графика тренда;

– в результате решения на практическом примере задачи о распределении поставок сформирована схема рекомендаций по управлению поставками.

Библиографический список

1. Савельев, Г.Л. Задача оптимизации ресурсов предприятия в условиях циклического изменения потребности / Г.Л. Савельев // Тр. X научн. семинара студентов и аспирантов «Управление организационно-экономическими системами». – Самара: СГАУ, 2010. – С. 25 – 30.
2. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1980.
3. Айвазян, С.А. Прикладная статистика и основы эконометрики / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян. – М.: ЮНИТИ, 1998.
4. Дуплякин, В.М. Рациональный асинхронный анализ временных рядов / В.М. Дуплякин, Ю.В. Княжева,

А.Ю. Ситникова // Сб. ст. IV-й Всерос. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы и перспективы менеджмента организаций в России». – Самара: СГАУ, 2009.

5. Чуйкова, Ю.С. Оптимизация материального потока в задаче управления запасами предприятия / Ю.С. Чуйкова // Сб. науч. ст. «Управление организационно-экономическими системами: моделирование взаимодействий, принятие решений». – Самара: СГАУ, 2009. – С. 25–30.

6. Ханк Джон. Бизнес-прогнозирование / Ханк Джон, Райтс Артур, Уичерн Дин. – М.-СПб.-Киев: Издательский дом «Вильямс», 2003.

7. Rardin R.L. Optimization in Operations Research. Prentice Hall, 1998.

FORECASTING AND OPTIMIZATION OF SUPPLIES IN CASE OF DEMAND FLUCTUATIONS

© 2011 B.A. Gorlach, G.L. Saveliev

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(national research university)

Harmonic analysis is suggested as a method for establishing regularities of varying processes, represented in the form of statistical sets of values. A sample of a real-world process representation as the sum of square and trigonometric polynomials is considered. The problem of optimal balancing of supplies between those performed using the enterprise's own resources and contracted transportation resources is discussed.

Trend, trigonometric polynomial, stochastic and periodic components, stochastic process, forecast, confidence interval, demand, supplies, resource, optimization.

Информация об авторах:

1. Горлач Борис Алексеевич, профессор кафедры математические методы экономики СГАУ, д.т.н., заслуженный деятель науки РФ, tgorlach@yandex.ru; область научных интересов: математическое моделирование экономических процессов.

2. Савельев Георгий Леонидович, аспирант кафедры математические методы экономики СГАУ, gsaveliev@riverlogic.com; область научных интересов: оптимизационное моделирование предприятий.

Information about authors:

1. Gorlach Boris Alekseevich, doctor of science, professor of the department of Mathematical Methods in Economics, SSAU, honored science worker of the Russian Federation, tgorlach@yandex.ru; area of research: mathematical modeling of economic processes.

2. Saveliev Georgy Leonidovich, postgraduate of department of Mathematical Methods in Economics, SSAU, gsaveliev@riverlogic.com; area of research: optimization-oriented enterprise modeling.