УДК 681.5

А.А.Жилина, Т.М.Янкис

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ

Российский новый университет
Воронежский институт высоких технологий

В данной работе рассмотрена задача формирования производственных ресурсов в распределенной системе. В качестве инструмента прогнозирования применяется аппроксимация реальных значений параметров восьми вариантов тестов (базовые значения) в каждой серии тестов, в качестве средства проверки оптимальности выбора способа аппроксимации, рассчитаны относительные ошибки прогноза (для девятого, десятого и одиннадцатого вариантов тестов - проверочные значения). По виду расположения значений параметров в системе координат с абсциссами - номерами вариантов тестов, сделано предположение о том, что для прогноза изменения параметров в первой и третьей рассматриваемых задачах может быть использована линейная аппроксимация, а во второго второй задаче - гиперболическая аппроксимация. Относительные ошибки аппроксимации при прогнозе проверочных значений равны не более 7% для первой задачи, 0% для второй задачи и не более 2% для третьей задачи.

Ключевые слова: распределенная система, ресурс, аппроксимация, прогнозирование.

1. Оптимальный выбор способа аппроксимации

Для распределённых систем производственных ресурсов характерно распределение функций, ресурсов между множеством элементов (узлов) и отсутствие единого управляющего центра, поэтому выход из строя одного из узлов не приводит к полной остановке всей системы [1-3] (Рисунок 1).

Одной из главных целей работы является прогноз развития параметров распределенной системы. Используя результаты тестов, полученные ранее в качестве основы для аппроксимации параметров, можно с помощью полученной аппроксимирующей кривой спрогнозировать значения параметров при проведении дальнейших тестов. В качестве оценки качества аппроксимации будем использовать среднеквадратическое отклонение реальных значений параметров от рассчитанных [4-7].

Приведем результаты аппроксимации изменения параметров с помощью степенных функций. Наилучшие результаты при аппроксимации параметров первой задачи (Таблица 1) получены при аппроксимации полиномом четвертой степени (Рисунок 2).

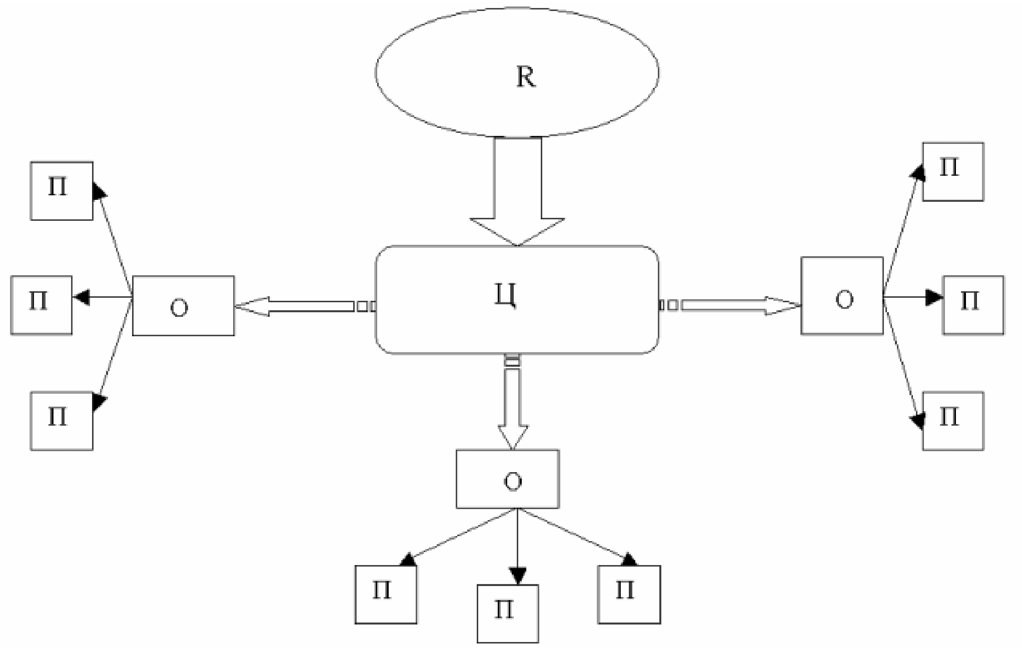

Рисунок 1 – Структурная схема распределения ресурсов: R - ресурс, который необходимо распределить; Ц - центральный распределительный объект; О - распределительный объект локального значения; П - непосредственно потребитель.

Таблица 1 – Результаты тестов при трех потребителях в распределенной системе

	Тест 1	Тест 2	Тест3
1	1,6667	5,0000	0
2	1,5000	3,0000	1,3333
3	1,4000	2,3333	1,2500
4	1,3333	2,0000	1,2000
5	1,2857	1,8000	1,1667
6	1,2500	1,6667	1,1429
7	1,2222	1,5714	0
8	1,2000	1,5000	0

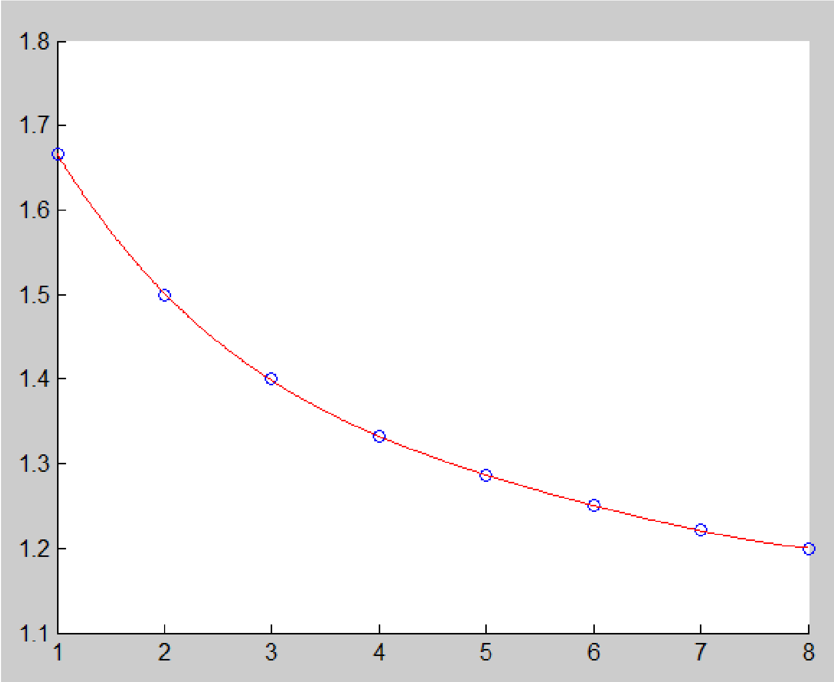

Рисунок 2 – Аппроксимация параметров первой задачи полиномом четвертой степени

Очевидно, что, так как в качестве основных данных, используются результаты восьми тестов (восемь точек), то наибольшая степень многочлена, который однозначно определяется по исходным данным, это седьмая степень. В Таблице 2 приведены среднеквадратические отклонения реальных значений параметров, от параметров, рассчитанных с помощью аппроксимирующей кривой. По таблице видно, что для первой серии тестов достаточным является аппроксимация многочленом четвертой степени, при этом ошибка составляет 0,0005.

Таблица 2 – Среднеквадратические отклонения значений параметров при аппроксимации полиномами разных степеней

Степень многочлена	Среднеквадратическое отклонение		
	Тест 1	Тест 2	Тест3
1	0,0947	1,2310	0,1907
2	0,0221	0,4363	0,0649
3	0,0039	0,1157	0,0216
4	0,0005	0,0217	0,0280
5	0,0000	0,0026	0,0100
6	0,0000	0,0001	0,0013
7	0,0000	0,0000	0,0000

Для второй серии тестов достаточно использование полинома шестой степени (Рисунок 3), так как ошибка равна 0,0001, а для третьей серии тестов для достижения необходимой степени близости реальных данных к расчетным, необходимо использование всех восьми точек, то есть степень многочлена – седьмая (Рисунок 4).

Отметим, что чем выше степень аппроксимирующего многочлена, тем меньше среднеквадратичные отклонения исходных данных: в таблице 2 наблюдается уменьшение этого показателя с ростом степени многочлена, вплоть до 0 при аппроксимации многочленом седьмой степени, так как коэффициенты последнего однозначно определяются по заданным восьми точкам.

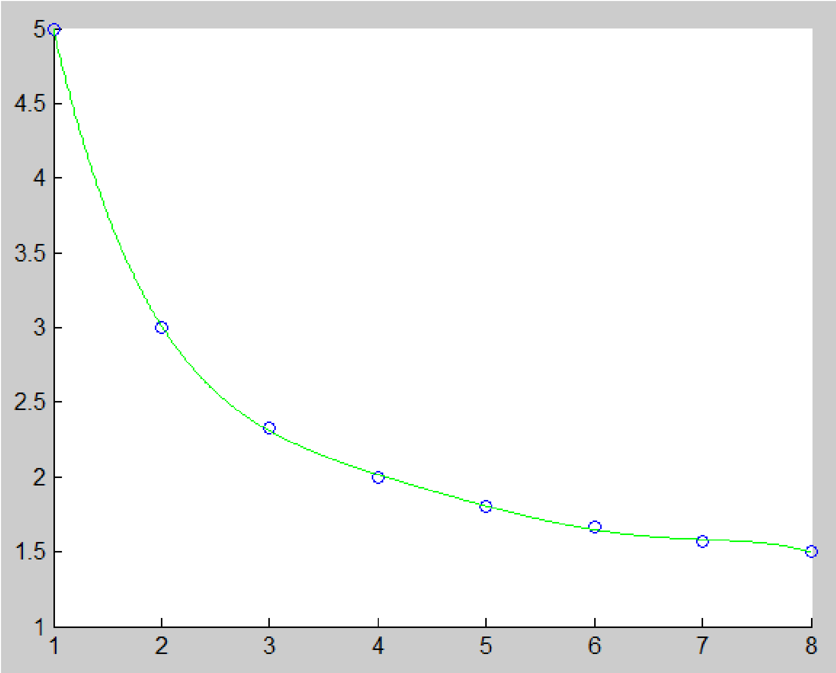

Рисунок 3 - Аппроксимация параметров второй задачи полиномом шестой степени

Тот факт, что для третьей серии тестов используется многочлен максимально возможной степени, говорит о том, что при дальнейшем увеличении числа точек, полученная аппроксимирующая кривая будет плохо описывать их расположение и, скорее всего, понадобится дальнейшее увеличение степени аппроксимирующего многочлена. Следовательно, не смотря на то, что представленные на Рисунках 2, 3 и 4 многочлены с достаточной степенью точности описываю исходные данные, они не могут применяться для прогноза изменения параметров системы.

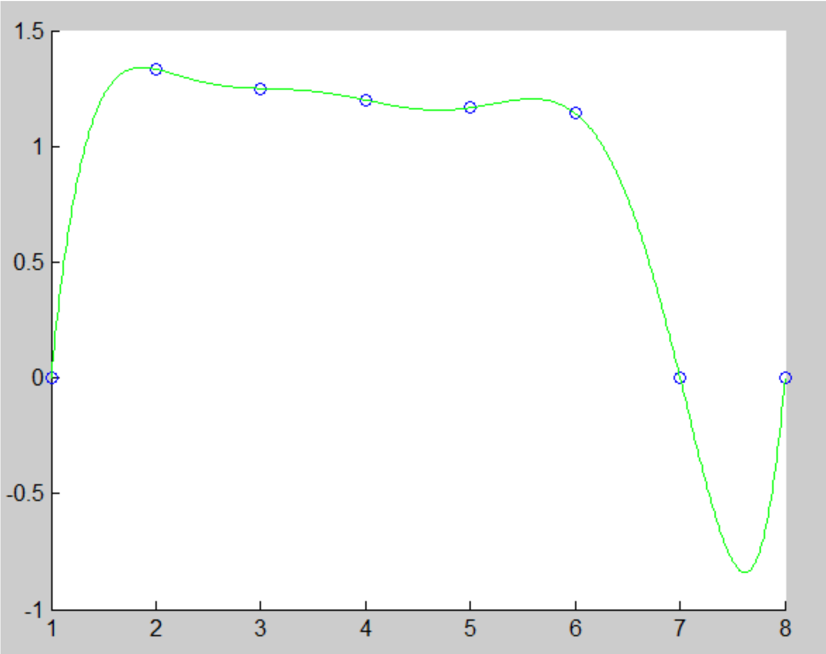

Рисунок 4 - Аппроксимация параметров третьей задачи полиномом седьмой степени

Таким образом, вопрос о том, будут ли полиномы указанных степеней – четвертой для первой задачи, шестой для второй задачи и седьмой для третьей задачи лучшими для прогнозирования результатов при дальнейшем увеличении параметров, остается открытым. Для ответа на этот вопрос решим соответствующие задачи для 9, 10 и 11 теста (то есть еще три раза будем увеличивать ограничения на 1), и получим прогнозируемые значения с помощью аппроксимирующих кривых. Сравнив их, можно будет сделать вывод о том, зависит ли выбор степени аппроксимирующего многочлена от случая, либо в большей степени связан с количеством проведенных тестов.

2. Прогнозирование показателей с помощью аппроксимации

Основная задача аппроксимации заключается в применении ее для прогноза значений. Для выбора оптимальной аппроксимирующей кривой пригодной для достоверного прогноза изменения параметров распределенной системы рассчитаем значения параметров для следующих трех тестов и будем использовать полученные данные для сравнения с прогнозируемыми данными, то есть будем использовать в качестве проверочных данных [8-10].

Приведем графические результаты проверки оптимальных с учетом расчета среднеквадратических отклонений способов аппроксимации с помощью проверочных данных. Сначала попробуем применить их для прогноза одного значения параметра (Рисунок 5). На Рисунке 5 кривая –

это аппроксимирующий многочлен четвертой степени, маркерами отмечены реальные значения параметра. По Рисунку 5 видно, что есть небольшое расхождение между спрогнозированным значением параметра и реальным результатом девятого варианта теста 1, так как при значении аргумента равном 9 соответствующий маркер отстоит от кривой на некоторое расстояние. При дальнейшем увеличении числа проверочных данных до трех, то есть, проводим также 10 и 11 варианты теста 1, полученные результаты подтверждаются (Рисунок 6).

По Рисунку 6 видно, что для 10 и 11 вариантов первой серии тестов значения расходятся еще больше.

Аналогичные результаты получены при прогнозе результатов 9, 10 и 11 вариантов тестов второй (Рисунок 7) и третьей задачи (Рисунок 8) многочленами шестой и седьмой степеней соответственно, хотя, казалось бы, они наилучшим образом аппроксимируют исходные данные (с наименьшей ошибкой).

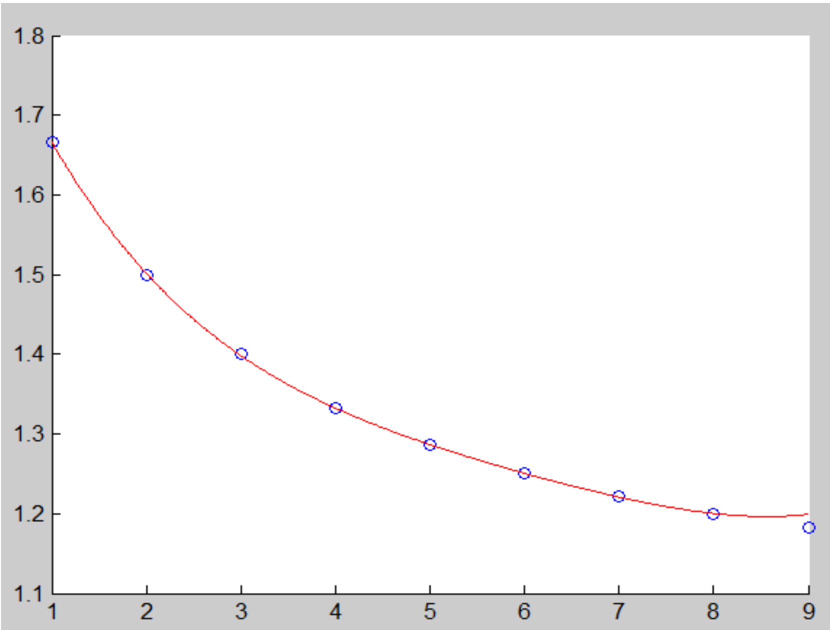

Рисунок 5 – Прогноз результатов 9 варианта в первой серии тестов

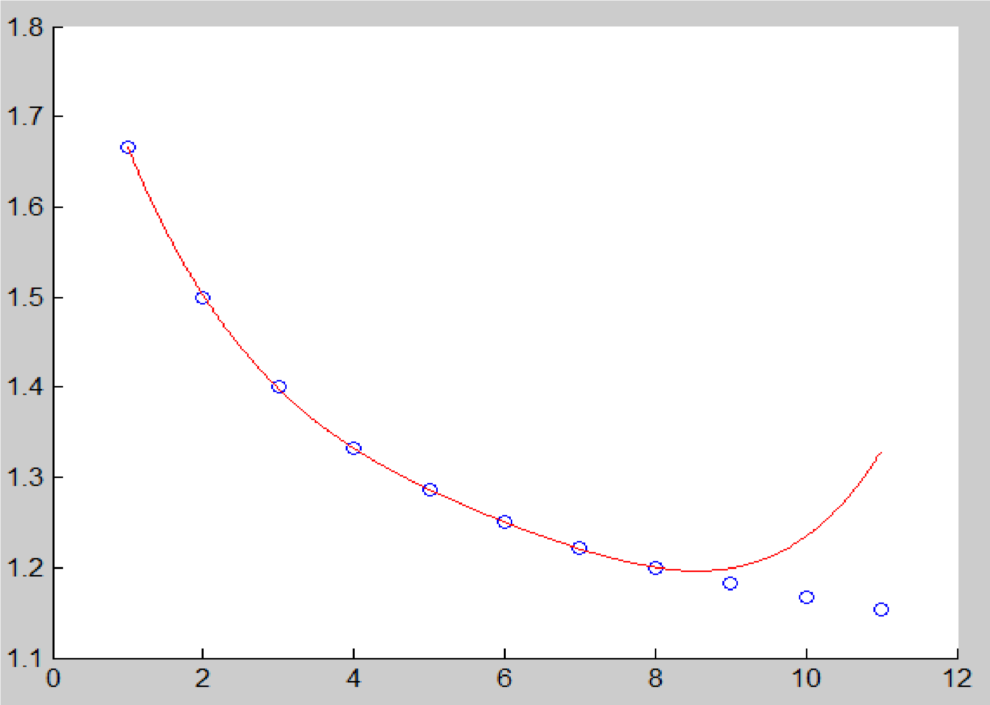

Рисунок 6 - Прогноз результатов 9,10 и 11 вариантов в первой серии тестов

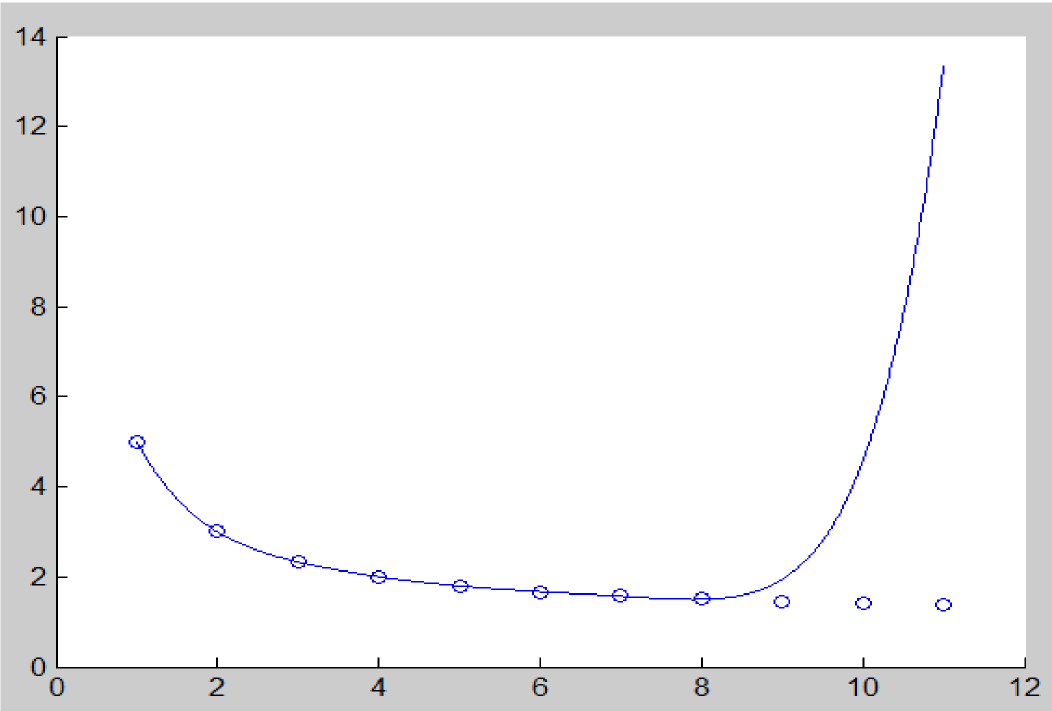

Рисунок 7 - Прогноз результатов 9,10 и 11 вариантов во второй серии тестов

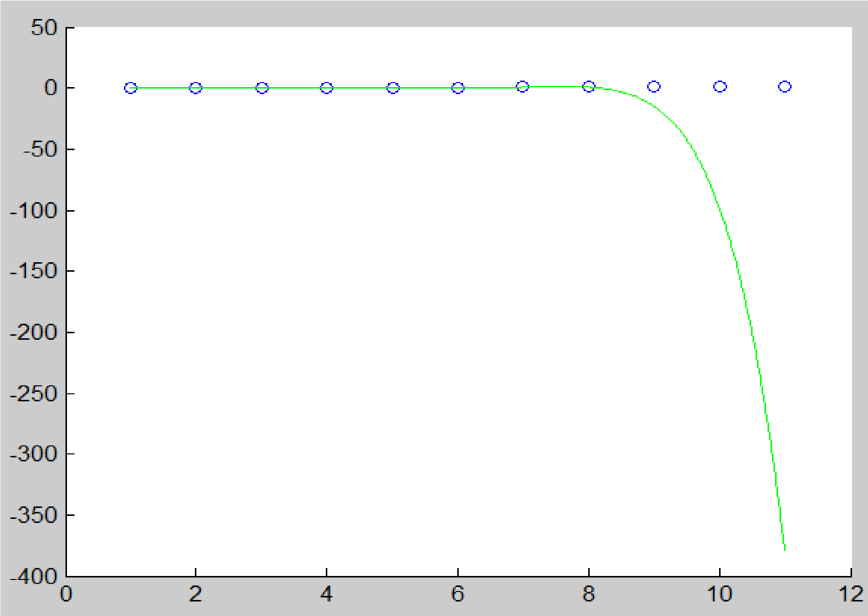

Рисунок 8 - Прогноз результатов 9,10 и 11 вариантов в третьей серии тестов

По расположению точек в первой и второй серии тестов можно сделать предположение о том, что наиболее достоверный прогноз даст аппроксимация с помощью гипербол вида:

$$\hat{y}(x) = \frac{k}{x} + c. \quad (1)$$

Для нахождения параметров k и c, при которых функция наилучшим образом будет описывать исходные данные (значения параметров в первых восьми вариантах серий тестов), составим функцию – сумму квадратов отклонений реальных значений от рассчитываемых с помощью аппроксимирующей функции:

$$F(k,c) = \sum_{i=1}^{8} (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^{8} \left(y_i - \frac{k}{x_i} - c \right)^2. \quad (2)$$

Найдем значения коэффициентов функции, минимизирующих функцию $F(k,c)$, из необходимых условий минимума функции двух переменных (метод наименьших квадратов).

$$\frac{\partial F}{\partial k} = -2 \sum_{i=1}^{8} \left(y_i - \frac{k}{x_i} - c \right) \cdot \left(\frac{1}{x_i} \right) = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial F}{\partial c} = -2 \sum_{i=1}^{8} \left(y_i - \frac{k}{x_i} - c \right) = 0. \quad (4)$$

Откуда, вынося за знак суммы множители, не зависящие от i и раскрывая скобки, получим:

$$\sum_{i=1}^{8}\frac{y_i}{x_i}-k\sum_{i=1}^{8}\frac{1}{x_i^2}-c\sum_{i=1}^{8}\frac{1}{x_i}=0, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^{8}y_i-k\sum_{i=1}^{8}\frac{1}{x_i}-8c=0. \quad (6)$$

Выражая из последнего выражения c

$$c=\frac{1}{8}\sum_{i=1}^{8}y_i-\frac{k}{8}\sum_{i=1}^{8}\frac{1}{x_i}, \quad (7)$$

и подставив полученное выражение в первую формулу получим

$$\sum_{i=1}^{8}\frac{y_i}{x_i}-k\sum_{i=1}^{8}\frac{1}{x_i^2}-\left(\frac{1}{8}\sum_{i=1}^{8}y_i-\frac{k}{8}\sum_{i=1}^{8}\frac{1}{x_i}\right)\cdot\sum_{i=1}^{8}\frac{1}{x_i}=0, \quad (8)$$

откуда получим расчетную формулу для нахождения k

$$k=\left(\frac{1}{8}\sum_{i=1}^{8}y_i\cdot\sum_{i=1}^{8}\frac{1}{x_i}-\sum_{i=1}^{8}\frac{y_i}{x_i}\right)\Big/\left(\frac{1}{8}\left(\sum_{i=1}^{8}\frac{1}{x_i}\right)^2-\sum_{i=1}^{8}\frac{1}{x_i^2}\right). \quad (9)$$

Приведем результаты аппроксимации изменения параметров в первой и второй серии тестов с помощью гиперболы на Рисунках 9 и 10 соответственно.

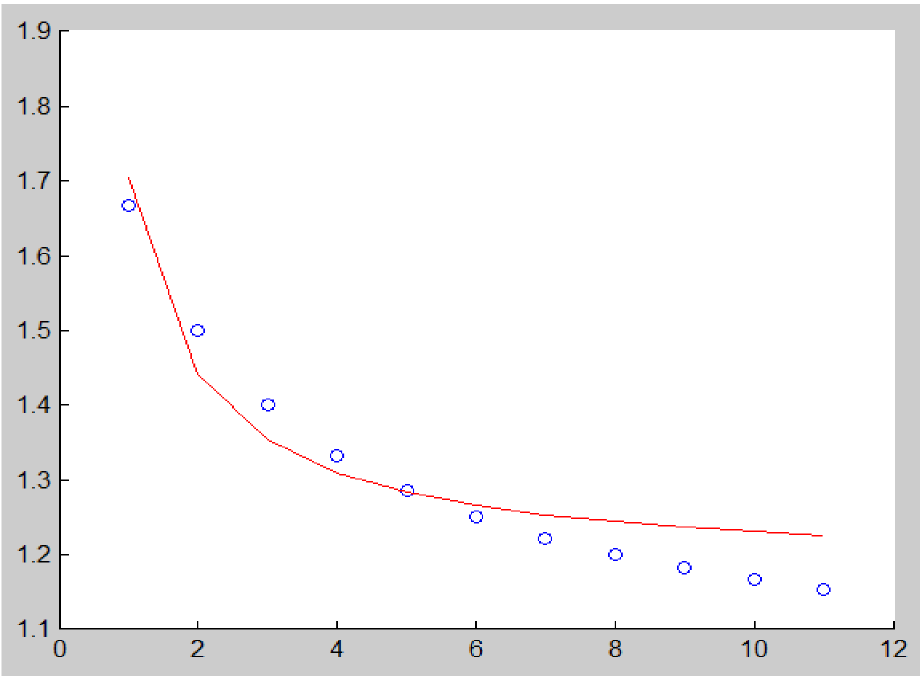

Рисунок 9 - Аппроксимация параметров первой задачи гиперболой

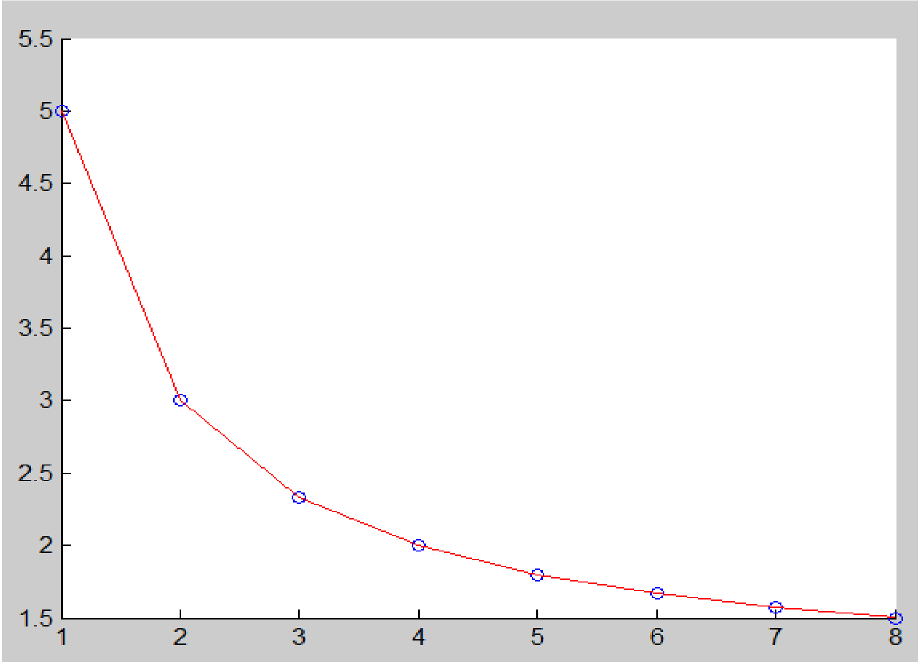

Рисунок 10 - Аппроксимация параметров второй задачи гиперболой

По отклонению положений маркеров графиков реальных значений параметра от соответствующих значений, полученных по формулам аппроксимирующих гипербол, видно, что во втором случае гипербола «идеально» описывает прогнозируемые значения. Расчеты относительной ошибки аппроксимации для 9, 10 и 11 вариантов тестов второй задачи равны 0.

Несмотря на то, что относительная ошибка аппроксимации для первой серии тестов составляет 4-7% (что соответствует первому столбцу рассчитанной в Matlab матрицы относительных ошибок), что может быть допустимо, это говорит о том, что аппроксимация гиперболой также является наилучшим вариантом аппроксимации изменения параметров первой задачи на несколько вариантов тестов [11-13].

Что касается аппроксимации гиперболой изменения параметров третьей задачи, то хотя относительная ошибка остается практически постоянной, но ее величина слишком велика (более 60%), следовательно, с помощью гиперболы нельзя достоверно спрогнозировать изменение параметров третьей задачи.

Проверим предположение о том, что наиболее достоверный прогноз можно выполнить при аппроксимации параметров третьей задачи прямой линией. Приведем на одном графике реальные данные и аппроксимирующую прямую на Рисунке 11.

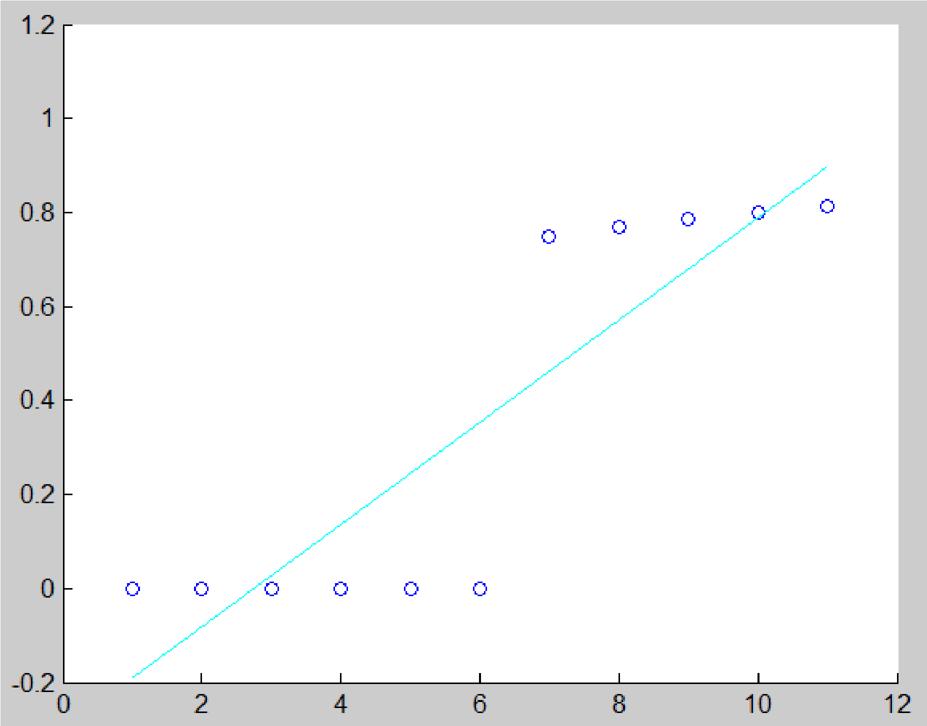

Рисунок 11 - Аппроксимация параметров первой задачи прямой

По Рисунку 11 видно, что прогнозируемые значения для 10 варианта практически совпадают с линейной аппроксимацией, а для 9 и 11 вариантов находятся в достаточной близости к линейной аппроксимации.

Таким образом, относительная ошибка не более 2%, значит, аппроксимация прямой наилучшим образом подходит для прогноза изменения параметров третьей задачи для нескольких вариантов тестов.

ЛИТЕРАТУРА

1.Преображенский Ю.П. Алгоритм нахождения оптимальной стационарной стратегии для марковских процессов принятия решений / Ю.П.Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2010. № 6. С. 81-82.

2.Паневин Р.Ю. Задачи оптимального управления многостадийными технологическими процессами / Р.Ю.Паневин, Ю.П.Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2010. № 6. С. 77-80.

3.Зяблов Е.Л. Построение объектно-семантической модели системы управления / Е.Л.Зяблов, Ю.П. Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2008. № 3. С. 029-030.

4.Самойлова У.А. О некоторых характеристиках управления предприятием / У.А.Самойлова // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2014. № 12. С. 176-179.

5.Нечаева А.И. Особенности функционирования информационных баз на складе / А.И.Нечаева // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 1 (16). С. 64-66.

6.Львович И.Я. Разработка программы по оптимизации перевоза товаров по складам / И.Я.Львович, С.С.Щербатых // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 2 (17). С. 57-60.

7.Кострова В.Н. Разработка алгоритма учета строительных материалов / В.Н.Кострова, Е.В.Кубрак // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2016. № 2 (17). С. 61-65.

8.Львович Я.Е. Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения / Я.Е.Львович // Воронеж, 2006, Издательство: Издательство "Кварта" (Воронеж) , 415 с.

9.Преображенский Ю.П. Оценка эффективности применения системы интеллектуальной поддержки принятия решений / Ю.П.Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2009. № 5. С. 116-119.

10.Кравцов Д.О. Методика оптимального управления социально-экономической системой на основе механизмов адаптации / Д.О.Кравцов, Ю.П.Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2008. № 3. С. 133-134.

11.Паневин Р.Ю. Структурные и функцинальные требования к программному комплексу представления знаний / Р.Ю.Паневин, Ю.П.Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2008. № 3. С. 061-064.

12.Пеньков П.В. Экспертные методы улучшения систем управления / П.В.Пеньков // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012. № 9. С. 108-110.

13.Бессонова А.А. Управление социально-экономическими системами в условиях модернизации / А.А.Бессонова, В.В.Дубинин, И.Я.Львович, Ж.И.Лялина, А.П.Преображенский, Е.Д.Рубинштейн, М.А.Салтыков, В.Н.Филипова, И.В.Филиппова / коллективная монография, Саратов, 2013, Издательство: ЦПМ "Академия Бизнеса", 110 с.

A.A.Zhilina, T.M.Yankis

THE FORECASTING PARAMETERS OF A DISTRIBUTED SYSTEM OF PRODUCTION RESOURCES

Russian new university
Voronezh Institute of High Technologies

In this paper we consider the problem of formation of production resources in a distributed system. As a forecasting tool approximated the real values of the parameters of the eight versions of the tests (baseline values) in each series of tests as means of checking the optimality of the choice of method of approximation, the calculated relative forecast errors (for ninth, tenth and eleventh variants of the tests and test values). By type of location parameter values in the coordinate system with the x - numbered versions of the tests made the assumption that for forecasting of change of parameters in the first and the third task can be used linear approximation, while the second task of the hyperbolic approximation. The relative approximation errors at the forecast test values is equal to not more than 7% for the first task, 0% for the second task, and no more than 2% for the third problem.

Keywords: distributed, online, approximation, prediction.

REFERENCES

1. Preobrazhenskiy Yu.P. Algoritm nakhozhdeniya optimal'noy statsionarnoy strategii dlya markovskikh protsessov prinyatiya resheniy / Yu.P.Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2010. No. 6. pp. 81-82.
2. Panevin R.Yu. Zadachi optimal'nogo upravleniya mnogostadiynymi tekhnologicheskimi protsessami / R.Yu.Panevin, Yu.P.Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2010. No. 6. pp. 77-80.
3. Zyablov E.L. Postroenie ob"ektno-semanticheskoy modeli sistemy upravleniya / E.L.Zyablov, Yu.P. Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2008. No. 3. pp. 029-030.
4. Samoylova U.A. O nekotorykh kharakteristikakh upravleniya predpriyatiem / U.A.Samoylova // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2014. No. 12. pp. 176-179.
5. Nechaeva A.I. Osobennosti funktsionirovaniya informatsionnykh baz na sklade / A.I.Nechaeva // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. No. 1 (16). pp. 64-66.
6. L'vovich I.Ya. Razrabotka programmy po optimizatsii perevoza tovarov po skladam / I.Ya.L'vovich, S.S.Shcherbatykh // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. No. 2 (17). pp. 57-60.
7. Kostrova V.N. Razrabotka algoritma ucheta stroitel'nykh materialov / V.N.Kostrova, E.V.Kubrak // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2016. No. 2 (17). pp. 61-65.
8. L'vovich Ya.E. Mnogoal'ternativnaya optimizatsiya: teoriya i prilozheniya / Ya.E.L'vovich // Voronezh, 2006, Izdatel'stvo: Izdatel'stvo "Kvarta" (Voronezh) , 415 p.

9. Preobrazhenskiy Yu.P. Otsenka effektivnosti primeneniya sistemy intellektual'noy podderzhki prinyatiya resheniy / Yu.P.Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2009. No. 5. pp.116-119.
10. Kravtsov D.O. Metodika optimal'nogo upravleniya sotsial'no-ekonomicheskoy sistemoy na osnove mekhanizmov adaptatsii / D.O.Kravtsov, Yu.P.Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2008. No. 3. pp. 133-134.
11. Panevin R.Yu. Strukturnye i funktsinal'nye trebovaniya k programmnomu kompleksu predstavleniya znaniy / R.Yu.Panevin, Yu.P.Preobrazhenskiy // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2008. No. 3. pp. 061-064.
12. Pen'kov P.V. Ekspertnye metody uluchsheniya sistem upravleniya / P.V.Pen'kov // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy. 2012. No. 9. pp. 108-110.
13. Bessonova A.A. Upravlenie sotsial'no-ekonomicheskimi sistemami v usloviyakh modernizatsii / A.A.Bessonova, V.V.Dubinin, I.Ya.L'vovich, Zh.I.Lyalina, A.P.Preobrazhenskiy, E.D.Rubinshteyn, M.A.Saltykov, V.N.Filipova, I.V.Filippova / kollektivnaya monografiya, Saratov, 2013, Izdatel'stvo: TsPM "Akademiya Biznesa", 110 p.