

# ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 519.6 : 004.021

М. М. БАЙАС, В. М. ДУБОВОЙ

Винницький національний технічний університет, Вінниця

## КООРДИНАЦІЯ РЕШЕНЬ О РАСПРЕДЕЛЕНИИ РЕСУРСОВ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

**Анотація.** Ефективна система координації та управління ресурсами є важливим чинником стабільного розвитку виробничих компаній. Незважаючи на застосування різних механізмів, спрямованих на досягнення балансу у виробничих системах, необхідність вдосконалення методів розв'язання завдань координації та управління ресурсами все ще існує. У цій статті представлено можливість застосування генетичних алгоритмів для розв'язання проблем координації та управління ресурсами в розподілених системах. У дослідженні доведено, що генетичні алгоритми можуть бути ефективно інтегровані в системи підтримки прийняття рішень для координації ресурсів та управління ними. Розроблено метод розв'язання завдань розподілу ресурсів і синхронізації технологічних процесів на прикладі виробництва молочної продукції.

**Ключові слова:** генетичні алгоритми, розподіл ресурсів, координація локальних систем управління розподіленими об'єктами.

**Анотация.** Эффективная система координации и управления ресурсами является важным фактором стабильного развития производственных компаний. Несмотря на применение различных механизмов, направленных на достижение баланса в производственных системах, необходимость совершенствования методов решения задач координации и управления ресурсами все еще существует. В этой статье представлена возможность применения генетических алгоритмов для решения проблем координации и управления ресурсами в распределенных системах. Исследование показывает, что генетические алгоритмы могут быть эффективно интегрированы в системы поддержки принятия решений для координации ресурсов и управления ими. Разработан метод решения задачи распределения ресурсов и синхронизации технологических процессов на примере производства молочной продукции.

**Ключевые слова:** генетические алгоритмы, распределение ресурсов, координация локальных систем управления распределенными объектами.

**Abstract.** An effective system of coordination and resource management is an important factor for stable development of manufacturing companies. Despite the use of various mechanisms aimed at achieving a balance in production systems, the need to improve methods for solving problems of coordination and resource management still exists. This paper presents the possibility of using genetic algorithms to solve the problems of coordination and resource management in distributed systems. The study shows that genetic algorithms can be effectively integrated into a decision support system for the coordination and management of resources. We developed a method for solving the problem of resource allocation and synchronization process on the example of dairy production.

**Key words:** genetic algorithms, resource allocation, coordination of local control systems distributed objects.

### Введение

Пространственное распределение технологических объектов сложных систем вызывает трудности в управлении. Изолированная работа объектов сложных систем часто приводит к многочисленным проблемам и порождает высокую степень неопределенности при принятии управленческих решений. Объекты могут функционировать независимо друг от друга, иметь различные цели и ограничения, различные параметры производительности и эффективности, но для достижения общей цели необходимо организовать их сложную взаимосвязь [1, 2].

В данном контексте **проблема** координации решений при управлении производственными системами является особенно **актуальной**. Постановке задач координационного управления сложными системами и методам их решения уделяется много внимания со стороны украинских и зарубежных исследователей, о чем свидетельствует большое количество публикаций, появившихся в последние десятилетия. Фундаментальная систематизация задач координации сделана в [3-5]. Рассматриваются преимущественно итерационные и неитерационные детерминированные алгоритмы координации. Однако разнообразие задач координации (критериев, ограничений, структур систем и т.п.), большая размерность задач (количество координируемых параметров), наличие неопределенности при оценивании состояния координируемых процессов обуславливают необходимость дальнейших исследований. В частности, в опубликованных работах не рассмотрена задача распределения ресурсов во взаимосвязи с задачей синхронизации параллельных технологических процессов.

Целью работы является разработка метода координации, под которой понимается процесс принятия правильного решения по распределению ресурсов и синхронизации процессов управления технологическими линиями для достижения общих целей производства.

### Метод решения

Рассмотрим **задачу** координации локальных решений на примере молочного завода, выпускающего три вида молочной продукции: молоко, кефир и сметану. Основным ресурсом, используемым заводом для производства пастеризованного молока, кефира и сметаны, является сырое молоко. Необходимо распределить поставляемый ресурс между тремя производственными линиями. Поскольку все три линии используют один комплекс упаковочно-складского оборудования, то необходимо согласование моментов окончания производственных циклов для предотвращения простоев.

На заводе действует централизованная иерархическая система координации [9]. Схема системы показана на рис. 1

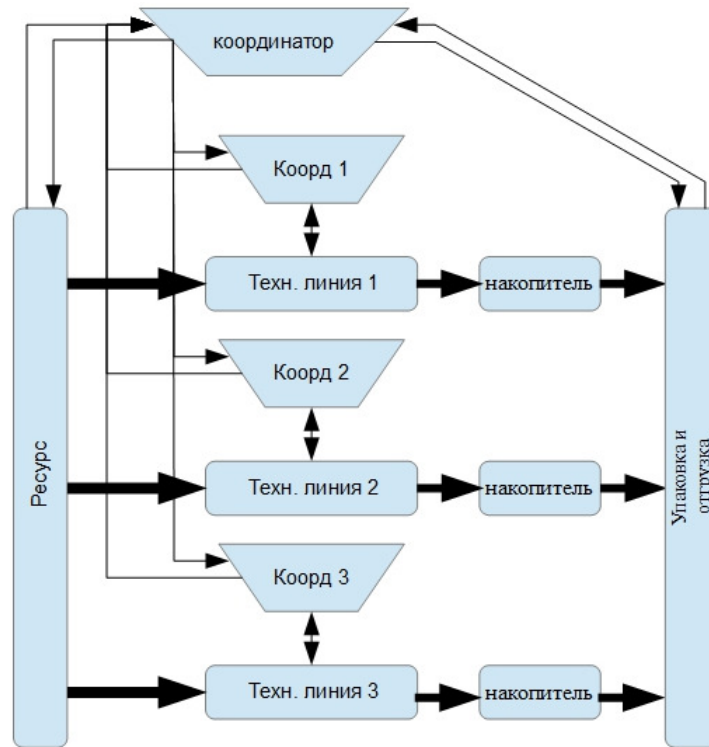


Рисунок 1 – Схема системы координации технологических линий молокозавода

Целью предприятия является максимизация прибыли, полученной от производства  $n=3$  видов молочных продуктов:

$$F = \sum_{i=1}^n M_i (C_i - z_i) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $M_i$  – количество произведенной продукции,  $C_i$  – цена произведенного продукта,  $z_i$  – удельные затраты производства,

$$z_i = \frac{Z_{ПОi} T_{\max}}{M_i} + Z_{ПЕРi}, \quad (2)$$

где  $Z_{поi}$  – постоянные затраты за единицу времени,  $Z_{перi}$  – переменные затраты,  $T_{\max}$  – длительность технологического процесса.

С учетом (2) критерий оптимизации процесса принимает вид

$$F = \sum_{i=1}^n M_i \left( C_i - \frac{Z_{ПОi} T_{\max} + M_i Z_{ПЕРi}}{M_i} \right) \rightarrow \max \quad (3)$$

Время начала и завершения операций тесно связано с объемом перерабатываемого сырья (ресурса). Для расчета  $T_{\max}$  рассмотрим график производства для трех линий, показанный на рис. 2.

Состояние  $p_i(t)$  каждой производственной

$$p_i(t) = p_{oi} [H(t - t_{oi}) - H(t - t_{fi})] \quad (4)$$

где  $p_{oi}$  производительность  $i$ -й линии,  $t_{oi}$  – время начала  $i$ -й операции линии,  $t_{fi}$  – время окончания операции  $i$ -й линии,  $t_{pi}$  – длительность технологического процесса  $i$ -й линии,  $H(t)$  – **Функция** Хевисайда

$$H(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

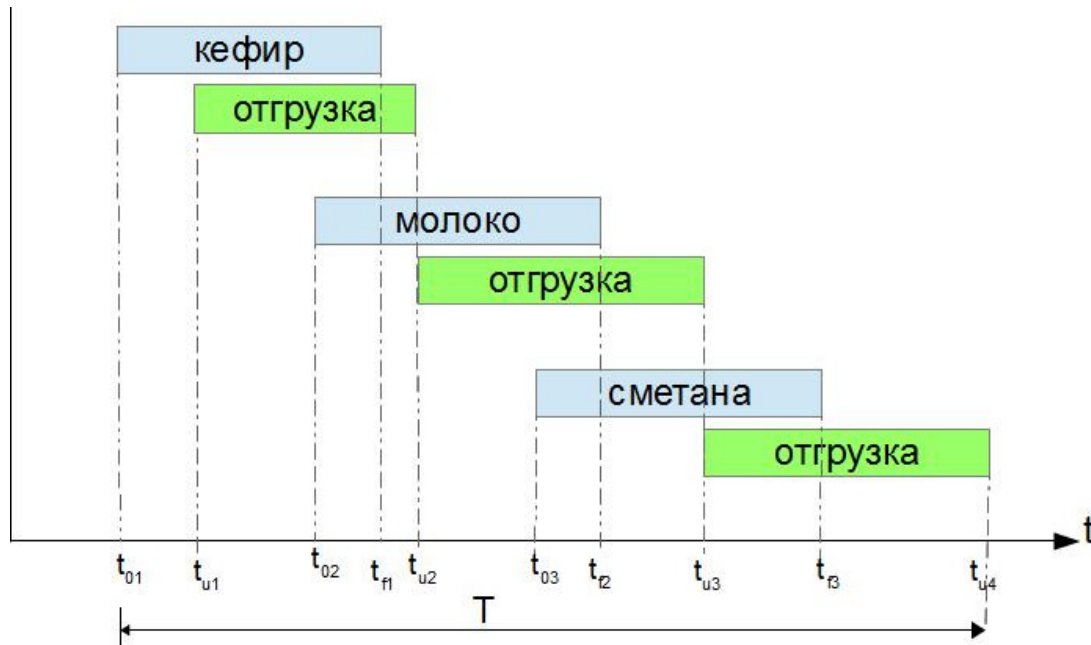


Рисунок 2 – Ленточный график производственного процесса

Продукция всех технологических линий поступает на один участок упаковки и отгрузки. В связи с этим продукция линии собирается в накопителе пока участок упаковки и отгрузки занят другой продукцией. Между временем производства, временем отгрузки и размерами накопителей выполняются соотношения:

$$t_{fi} = t_{oi} + t_{pi} \quad (6)$$

$$t_{li} = \frac{A \max_i}{P_{oi}} \quad (7)$$

$$t_{ui} = \frac{A \max_i}{u_{oi} - P_{oi}} \quad (8)$$

$$T_i = t_{li} + t_{ui} \quad (9)$$

$$n = \left[ \frac{t_{fi} - t_{oi}}{T_i} \right] \quad (10)$$

где  $t_{li}$  – длительность заполнения накопителя,  $A \max_i$  – объем накопителя,  $A$  – объем, который накапливается в накопитель,  $t_{ui}$  – длительность отгрузки накопителя,  $n$  – количество циклов,  $u_{oi}$  – производительность процесс отгрузки,  $T_i$  – длительность цикла,  $u_i(t)$  – состояние отгрузки.

$$u_i(t) = u_{oi} \left[ \sum_0^n H\left(t - t_{oi} - t_{li} - nT_i + \frac{t_{ui}}{2}\right) - H\left(t - t_{oi} - t_{li} - nT_i - \frac{t_{ui}}{2}\right) + k \left[ H(t - t_{fi}) - H\left(t - p_{oi} \left(\frac{t_{fi} - nT_i}{u_{oi}}\right)\right) \right] + (1 - k) \left[ H(t - nT_i + t_{li}) - H\left(t - \left(t_{fi} + \frac{A_{max} - (u_{oi} - p_{oi})(t_{fi} - (nt_{li} + t_{li}))}{u_{oi}}\right)\right) \right] \right] \quad (11)$$

$$k = \begin{cases} 1, & t_f < nT_i + t_{li} \\ 0, & t_f \geq nT_i + t_{li} \end{cases} \quad (12)$$

$$A_i(t) = (p_i(t) + u_i(t))t \quad (13)$$

Цикл производства показан на рис.3.

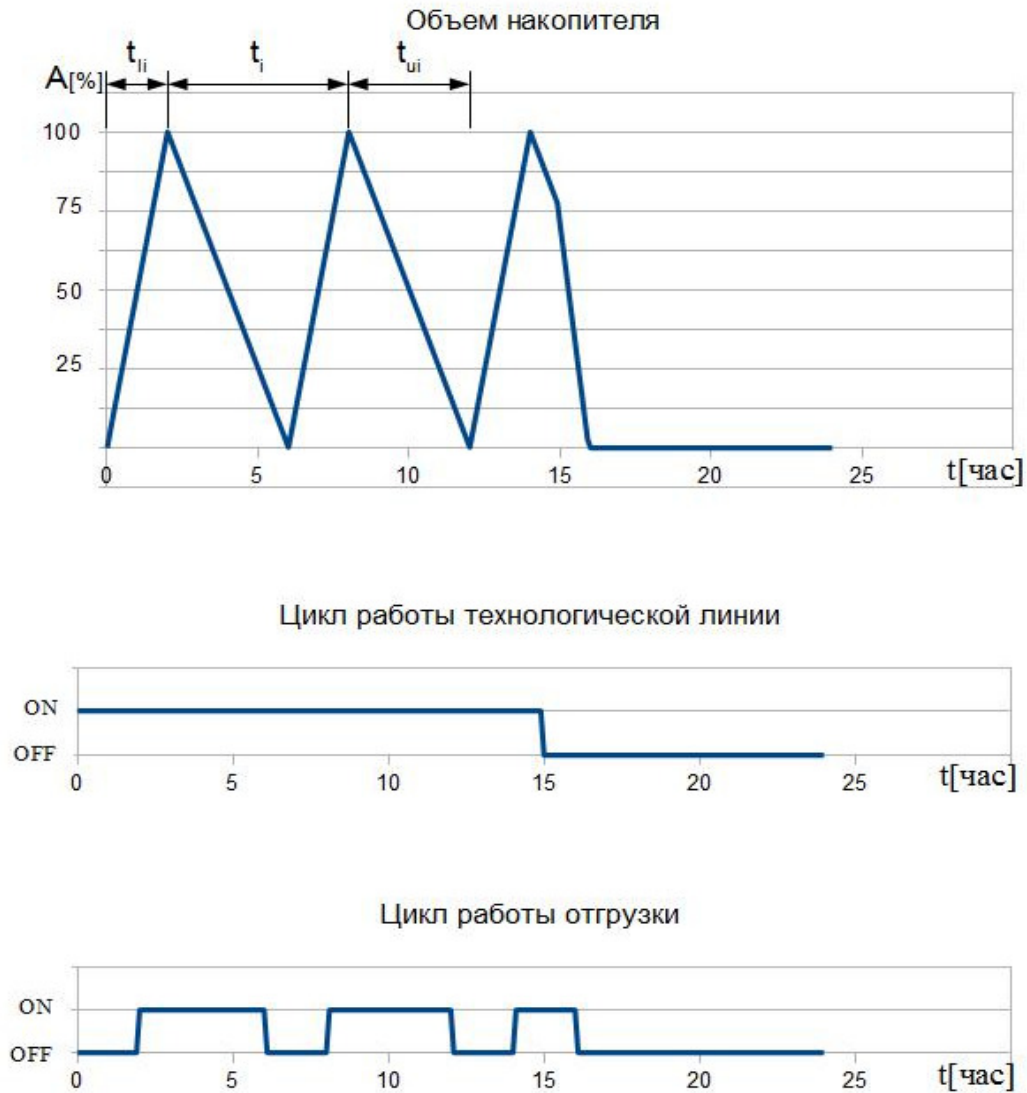


Рисунок 3 – Цикл производства трех видов продукции

Таким образом, для  $n=3$  целевая функция координации зависит от 6 переменных:  $F(M_1, M_2, M_3, t_{01}, t_{02}, t_{03})$ .

В данной задаче учтем следующие ограничения:

- количество производимой продукции не должно превышать спрос

$$D_i \geq M_i, \tag{14}$$

где  $D_i$  – величина спроса на производимую продукцию;

- общее количество продукции соответствует количеству ресурса с учетом коэффициентов выхода

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{M_i}{\eta_i} \tag{15}$$

- время начала работы линии

$$0 \leq t_{0i} \leq T_{\max} - T_i$$

Задачу оптимальной координации будем решать при исходных данных, основные из которых представлены в табл.1 [9].

Таблица 1. Характеристика производимой продукции

№	Наименование продукции	Объем накопителя (тонна)	Цена, [грн./л]	Постоянные затраты, грн/ месяц	Переменные затраты грн/тонна	Производительность (тонна/ч)	
						процесса	отгрузки
1	Кефир	0,16	11,00	121115,50	13476	0,080	0,50
2	Сметана	0,10	17,80	122797,00	43274	0,036	0,50
3	Молоко	1,00	10,50	490706,50	10719	0,486	0,55

Значение целевой функции находится в результате численного решения системы уравнений (3)-(13). Данная задача оптимизации характеризуется нелинейностью и полимодальностью целевой функции, наличием ограничений, большим количеством параметров оптимизации. Среди наиболее подходящих методов решения задачи можно выделить генетические алгоритмы [1, 2, 6, 7].

Генетический алгоритм оперирует конечным множеством решений  $\square$ , именуемым популяцией  $\square$  [8]. Новые решения получаются в результате различных комбинаций частей решений популяции при помощи операторов отбора, кроссовера и мутации. Примеры выполнения этих операций для рассматриваемой задачи показаны на рис. 4.

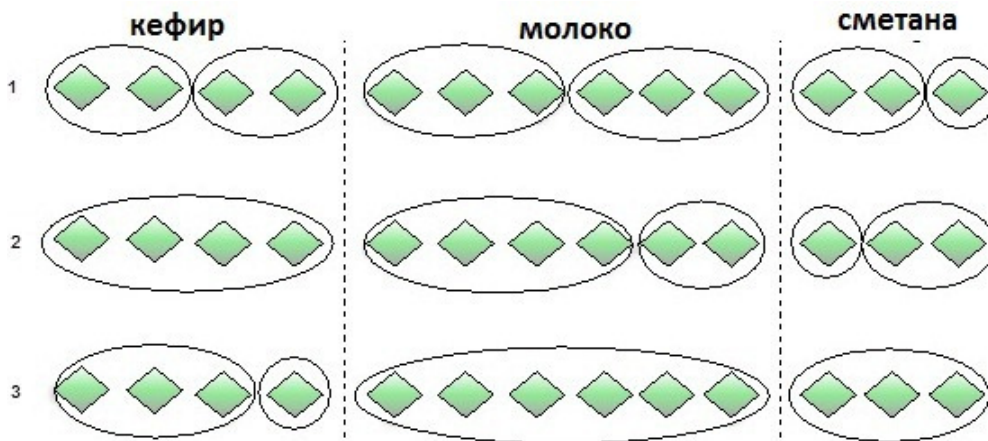


Рисунок 4 – Варианты распределения ресурса

Новые решения позиционируются в популяции в соответствии с их положением на поверхности оптимизируемой функции. Последовательность работы генетического алгоритма выглядит следующим образом.

1. На первом этапе формируется начальная популяция, т.е. массив решений некоторым образом заполняется определенными значениями. В частности, эти значения могут генерироваться случайным образом.  $P = X_1, X_2, \dots, X_n$ .  $X_i$  – элементы особой популяции, но для данной задачи распределения ресурсов с учетом приведенных выше ограничений более эффективной будет неслучайная начальная популяция вида:

$$P = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & M_3 & t_{01} & t_{02} & t_{03} \\ P_{\Sigma} & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & P_{\Sigma} & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & P_{\Sigma} & 0 & 0 & 1 \\ \frac{P_{\Sigma}}{3} & \frac{P_{\Sigma}}{3} & \frac{P_{\Sigma}}{3} & 1 & 1 & 1 \\ \frac{P_{\Sigma}}{2} & \frac{P_{\Sigma}}{2} & 0 & 1 & 3 & 2 \\ \frac{P_{\Sigma}}{2} & 0 & \frac{P_{\Sigma}}{2} & 1 & 2 & 3 \\ 0 & \frac{P_{\Sigma}}{2} & \frac{P_{\Sigma}}{2} & 2 & 1 & 3 \\ \frac{P_{\Sigma}}{2} & \frac{P_{\Sigma}}{3} & \frac{P_{\Sigma}}{6} & 2 & 3 & 1 \\ \frac{P_{\Sigma}}{2} & \frac{P_{\Sigma}}{6} & \frac{P_{\Sigma}}{3} & 3 & 1 & 2 \\ \frac{P_{\Sigma}}{6} & \frac{P_{\Sigma}}{2} & \frac{P_{\Sigma}}{3} & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

2. На втором шаге вычисляется приспособленность каждой особи популяции по ее признакам с использованием критерия (3). Чем лучше значение, принимаемое целевой функцией и обеспечиваемое особью, тем выше ее приспособленность.

3. Особи ранжируются по критерию приспособленности. Из особей с самым высоким уровнем приспособленности (для популяции из 13 особей уровень приспособленности выше среднего будут иметь 6 особей) составляются родительские пары. Общее число пар  $C_6^2 = \frac{6!}{2!(6-2)!} = 15$ , что обеспечивает рост популяции.

4. Выполняется операция кроссовера, которая состоит в случайном выборе точки на хромосоме (вектор хромосом  $X_i = C_1, C_2, \dots, C_m$ ), относительно которой будет производиться скрещивание. В нашем примере на рис. 4. при скрещивании часть новой особи до этой точки формируется за счет одного родителя, а часть после этой точки – за счет другого родителя.

5. Новые особи мутируют с вероятностью не менее  $\frac{1}{N}$ , где  $N$  – размер популяции. Это обеспечивает изменчивость популяции.

6. Отбрасываются особи, не удовлетворяющие ограничения (2) и (3).

7. Вычисляется приспособляемость новых особей, после чего эти они заменяют в популяции предыдущие наименее приспособленные особи. Очевидно, что если приспособляемость какой-либо новой особи ниже, чем приспособляемость старых, то эта особь не включается в популяцию.

8. Если самое лучшее решение в популяции не признается удовлетворительным, то снова возвращаемся к третьему шагу описанного алгоритма. Если же решение нас устраивает, то алгоритм завершает свою работу.

В табл. 2 представлены результаты выполнения программы, когда число особей в популяции остается постоянным и равняется десяти, а число поколений увеличивается с каждым шагом.

Таблица 2. Результаты выполнения программы для фиксированного размера популяции.

Количества поколений	M1	M2	M3	Последовательность	Целевая функция
10	1	5	12	312	53663
50	1	5	12	312	51100
100	2	5	11	132	39338
200	2	5	11	231	42981
300	3	5	10	231	43595
400	1	5	12	231	37480
500	2	5	11	312	50516

В табл. 3 представлены результаты выполнения программы, где уже число особей в популяции увеличивается с каждым шагом, а число поколений остается постоянным и равняется десяти.

Таблица 3. Результаты выполнения программы для фиксированного числа поколений

Размер популяции	M1	M2	M3	Последовательность	Целевая функция
10	2	5	11	231	45677
50	1	5	12	321	54537
100	2	4	12	321	53253
200	2	3	13	321	53835
300	1	5	12	312	54261
400	2	5	11	312	55330
500	1	5	12	312	54577

На рис. 5 представлен пример влияния количества поколений на целевую функцию.

На рис. 6 представлен пример влияния размера популяции на целевую функцию.

В первом случае мы видим, что при фиксированном размере популяции коэффициент вариации остается практически неизменным. Во втором случае, при неизменном количестве поколений коэффициент вариации уменьшается.

Для анализа эффективности применения генетического алгоритма для решения поставленной задачи координации в качестве базы сравнения был использован алгоритм случайного поиска [10]. В качестве критерий оценки были использованы следующие: а) число итераций, необходимое для достижения значения допуска  $\text{err}$ ; б) коэффициент вариации  $CV$  на тысячу прогонов алгоритма для обеспечения надежности алгоритма; в) значение критерия оптимизации для данной задачи. Результаты сравнения показаны в табл. 4.

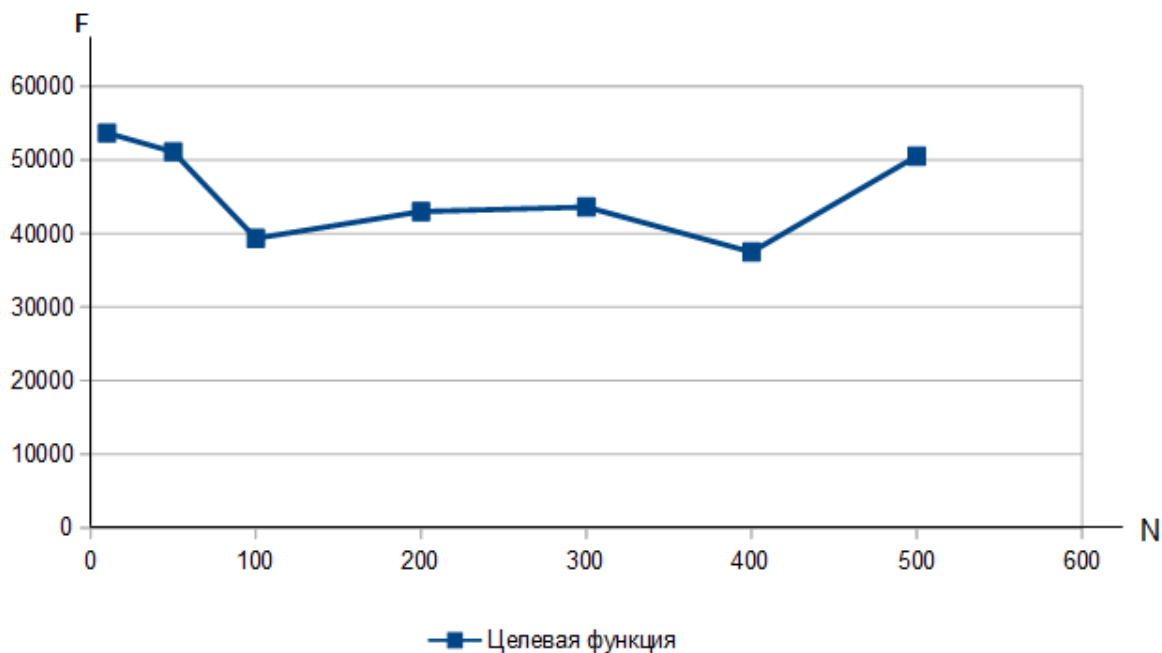


Рисунок 5 – Зависимость целевой функции от количества поколений

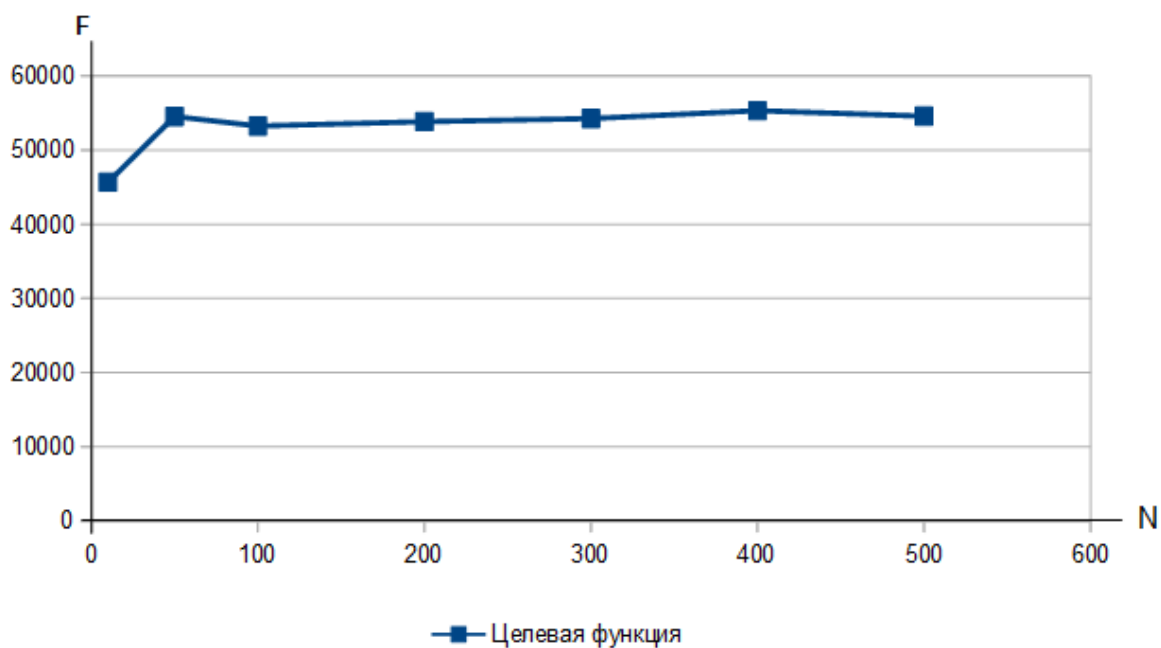


Рисунок 6 – Зависимость целевой функции от размера популяции

Таблица 4. Сравнение выполнения используемых алгоритмов

Метод	Количество итераций		CV на 1000 запусков	Значение критерия оптимизации для данной задачи
	ferr < 3.0%	ferr < 0.5%		
Генетический алгоритм	500	1000	0.036	53070
Случайный поиск	1000	3000	0.062	51230



### Заключение

Предложенное решение задачи координации распределения ресурсов и синхронизации работ предприятия с использованием генетических алгоритмов дает лучшее приближение к оптимальному значению при меньшем количестве итераций по сравнению с методом случайного поиска. Это позволяет получить выигрыш во времени принятия решений и тем самым сократить простой оборудования

Разработанная модель координации деятельности молочного завода на базе генетического алгоритма оптимизации может быть адаптирована для других технологических процессов, требующих взаимосвязанных распределения ресурсов и синхронизации.

В рассмотренном примере использовался только один ресурс, который распределялся между технологическими линиями. В дальнейшем планируется увеличить количество ресурсов, подлежащих распределению.

### Благодарности

Эта работа была выполнена при финансовой поддержке гранта "Министерство высшего образования, науки, технологий и инноваций "SENESCYT" Эквадор, и спонсируется университетом Santa Elena "UPSE", Эквадор.

### Список литературы

1. Marcia Bayas Sampedro. Efficient Resources Allocation in Technological Processes Using Genetic Algorithm / Marcia Bayas Sampedro and V.M. Dubovoy / Middle-East Journal of Scientific Research 14 (1): 01-04, 2013 ISSN 1990-9233 © IDOSI Publications, 2013 DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2013.14.1.16313.
  2. Bayas M. M. Efficient Resources Allocation in Technological Processes Using an Approximate algorithm based on Random Walk /. Bayas M. M. and Dubovoy V. M. / International Journal of Engineering and Technology. Vol. 5 № 5 Oct-Nov 2013.
  3. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / Месарович М., Мако Д., Така-хара И. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
  4. Ладанюк О. А. Автоматизированное управление взаимосвязанными подсистемами технологических комплексов пищевых производств / Ладанюк О. А. – К., 1996. – 176 с.
  5. Системна задача координації в технологічних комплексах неперервного типу / Ладанюк А. П., Шумигай Д. А., Бойко Р. О. – Режим доступу : [http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/4444/1/Sh\\_3.pdf](http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/4444/1/Sh_3.pdf).
  6. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы / Панченко Т.В.; под ред. Ю. Ю. Тарасевича. – Астрахань: Астраханский университет, 2007. – 87 с.
  7. Niu D. An Efficient Distributed Algorithm for Resource Allocation in Large- Scale Coupled Systems/ Niu D. and Li B. / 2013.
  8. Mitchell M. An introduction to genetic algorithms / Mitchell M. – Cambridge, MA: MIT Press., 1996
  9. Технология и техника переработки молока / Молочный портал. – Режим доступу : <http://molokoportal.ru/category/tehnologiya-i-tehnika-pererabotki-moloka/>
  10. Ghate A. Adaptive search with stochastic acceptance probabilities for global optimization / Archis Ghate. Robert L. Smith / Operatios Research Letters. Vol. 36 № 3 May 2008 . – 285-290 p.
- Статья поступила: 27.05.2014.

### Сведения об авторах

**Байас Марсия** – аспирантка кафедры КСУ, Винницкий национальный технический университет, Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, 21021.

**Дубовой Владимир Михайлович** – д.т.н., профессор, заведующий кафедры КСУ, Винницкий национальный технический университет, Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, 21021, тел. 59-81-57.