

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ ЗА СЧЕТ СИНХРОНИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРИ АКТУАЛИЗАЦИИ МНОЖЕСТВА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЕКТОВ

Л. А. Мыльников✉

*Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем»,  
leonid.a.mylnikov@gmail.com; ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия*

**Ключевые слова:** контур обработки информации; модель Курамото; множество производственных проектов; нотация EdPM; производственная система; статистическое исследование; структурно-функциональное моделирование.

**Аннотация:** Предложено использовать описание контуров обработки информации в нотации EdPM и модели Курамото для сокращения множества возможных вариантов. Рассмотрена задача на примере взаимосвязи стратегического, тактического и оперативного уровней планирования, принятых в производственных системах. Проведена оценка эффективности контура обработки информации решения задачи актуализации множества производственных проектов путем статистического исследования данных, получаемых в результате имитации его работы.

---

### Введение

Использование структурно-функционального моделирования в настоящее время открывает возможности не только для описания и экспертного оценивания моделей контуров обработки информации, но и для изучения их формальными методами.

В работе [1] предложена нотация EdPM (*англ.* Event-driven Process Methodology), которая позволяет по графическому представлению получать знаково-символьное описание и компьютерную программу для исследования эффективности [2] методами имитации ее работы.

Во многих моделях контуров обработки информации присутствуют как элементы, генерирующие поток заявок/случайных событий, так и периодические процессы. В производственных системах (ПрС) периодические процессы связаны с закупками, поставками, планированием и управлением на разных уровнях (оперативном, тактическом и стратегическом). Для решения задач планирования в ПрС нашли широкое применение методы системного анализа и исследования операций [3]. Задачи управления опираются на использование таких концепций, как каскадная модель [4], спиральная модель [5], методологии Agile [6], Scrum [7], Design Thinking [8], Kanban, Lean Production [9], Six Sigma [10], Just-in-Time [11] и др. Данные методы позволяют найти эффективные характеристики системы, но не учитывают влияние многих процессов друг на друга, которые часто не оказывают существенного влияния на эффективность за счет того, что ряд параметров принимают значения, определенные эмпирическим путем в результате множественного применения подходов на разных предприятиях (например, периоды стратегического, тактического и оперативного планирования). В сложившейся прак-

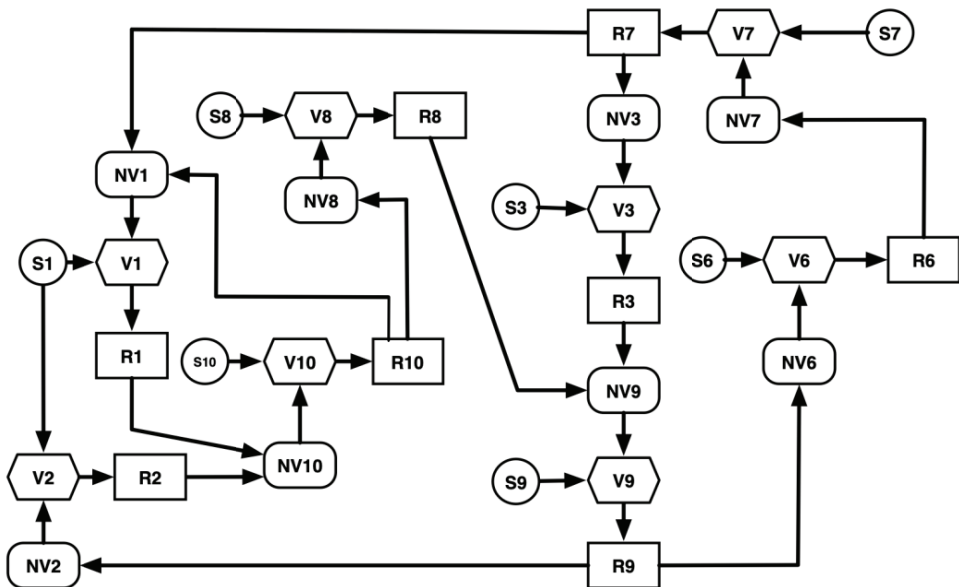
тике стратегическое планирование осуществляется с периодичностью в один год и более, тактическое – с интервалами от квартала до месяца, а оперативное, как правило, – с периодичностью в неделю или декаду. Выбор таких значений не связан с организационными и инфраструктурными особенностями ПрС.

*Цель работы* – повышение эффективности контуров обработки информации, реализующих несколько процессов с разной периодичностью за счет их согласованности.

### Методология

Возможно, согласованность периодических процессов приведет к повышению эффективности по подобию таких известных явлений, как синхронизация за счет слабого взаимодействия колебания маятников, синхронизация аплодисментов во время концертов, строевого шага, взаимодействие пятен на солнце и т.п. Для описания такого взаимодействия используют модель, предложенную Курамото в работе [12].

Если рассмотреть процесс актуализации множества производственных проектов (МПП), то его можно описать структурно-функциональной моделью,



**Рис. 1. Процесс актуализации множества производственных проектов производственной системы в нотации EdPM:**

S1 – появление нового проекта; S3 – обновление данных прогнозов; S6 – производство; S7 – время сбыта/продажи; S8 – изменение набора или состава возможных производственных корзин; S9 – объемно-календарное планирование; S10 – проверка изменений; V1 – исключение проектов из МПП; V2 – включение проектов МПП; V3 – прогнозирование параметров МПП; V6 – формирование и выбор траектории развития МПП; V7 – производство и сбыт/продажа; V8 – формирование множества МПП; V9 – объемно-календарное планирование; V10 – проверка на наличие проектов, меняющих МПП; R1 – множество проектов на исключение из МПП; R2 – множество проектов на включение в МПП; R3 – значения прогнозов параметров МПП; R6 – траектории развития МПП; R7 – объемы сбыта/продаж; R8 – возможные варианты МПП; R9 – объемно-календарный план; R10 – МПП; NV1 – данные о продажах товаров из МПП; NV2 – текущие планы производства и ресурсно-технологическое обеспечение; NV6 – данные о планах и ресурсах; NV7 – спрос и состояние склада; NV8 – АПК; NV9 – возможные варианты МПП; NV10 – МПП и множество проектов на включение и исключение

приведенной на рис. 1 [13], где элементами, задающими периодичность работы, являются элементы S, среди которых: S1 – описывается потоком Пуассона с заданной интенсивностью; S3 – соответствует периодам получения статистики о ценах и объеме продаж; S7 – может выполняться по своему графику (графику, согласованному с заказчиком) или по факту накопления в зависимости от типа производства; S6 – соответствует уровню оперативного планирования; S8 – соответствует уровню стратегического планирования; S9 – соответствует уровню тактического планирования; S10 – проводится по факту появления новых проектов (в некоторых случаях, если требуется согласование комиссии, может проводиться с заданной периодичностью, обычно 7 – 30 дней).

Таким образом, если предположение верно, то синхронизация процессов планирования S6, S8 и S9 должна приводить к повышению эффективности контура обработки информации с поправкой на запаздывания, связанные с выполнением операций в блоках V (см. рис. 1).

Обозначенные выше значения для S6 (7 – 10 дней), S8 (365 и более дней) и S9 (30 – 93 дней) являются приблизительными и, имея модель системы, можно имитировать ее работу и перебирать возможные варианты. Таким образом, приходим к комбинаторной задаче, размерность которой может быть очень большой, так как истинные диапазоны значений для перебора не известны и могут ограничиваться только способностью инфраструктуры ПрС.

Для уменьшения числа рассматриваемых вариантов необходимо найти зависимости между частотами, с которыми будут работать элементы S6, S8 и S9. Для случая с тремя осцилляторами, соответствующими элементам S6, S8 и S9, которым соответствуют частоты  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  и  $\omega_3$ , то согласно модели Курамото, запишем систему [14]:

$$\begin{cases} \dot{\theta}_1 = \omega_1 + k_{12} \sin(\theta_2 - \theta_1); \\ \dot{\theta}_2 = \omega_2 + k_{12} \sin(\theta_2 - \theta_1) + k_{23} \sin(\theta_3 - \theta_2); \\ \dot{\theta}_3 = \omega_3 + k_{23} \sin(\theta_2 - \theta_3). \end{cases}$$

Если считать, что осцилляторы S6, S8 и S9 синхронизированы, тогда

$$k^2 = \frac{((\Omega - \omega_2) - r\Delta\omega)^2}{4(1 - r^2)\sin^2 \alpha} + \frac{(r(\Omega - \omega_2) - \Delta\omega)^2}{4(1 - r^2)\cos^2 \alpha},$$

где  $\Delta\omega = \omega_1 - \omega_3$ ;  $r = \frac{\Delta k}{k}$  – коэффициент несимметрии среднего осциллятора,

$$k = \frac{k_{12} + k_{23}}{2}, \Delta k = \frac{k_{12} - k_{23}}{2}, \alpha = \frac{\theta_1 - \theta_3}{2}.$$

Если рассмотреть частоту как скорость планирования  $\omega = N/T$ , где  $N$  – число раз, когда проводилось планирование;  $T$  – рассматриваемое время (период), то для частот уровней планирования должно выполняться отношение  $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3$ , кроме этого, согласно данным, принятым на практике, должна наблюдаться определенная пропорция в разнице частот. Например, если за период стратегического планирования взять один год (365 дней), то тактическому уровню планирования может соответствовать квартал/месяц, что соответствует  $\omega_1 = \text{от } 4 \text{ до } 12\omega_2$ , следовательно, при переходе на оперативный уровень  $\omega_2$  будет соответственно принимать значения от 4 до  $12\omega_3$ .

Учитывая, что рассматриваемые колебания являются гармоническими, то выполняется зависимость  $\theta = \omega T + \theta_0$ , где  $\theta_0$  – начальная фаза, значение которой примем  $\theta_0 = 0$  и получим  $\theta = \omega T$ . Выполнив подстановки, получаем

$$k^2 = \frac{\left[ \cos^2\left(\frac{T}{2}(\omega_1 - \omega_3)\right) + r^2 \sin^2\left(\frac{T}{2}(\omega_1 - \omega_3)\right) \right] \left[ \left(\frac{\omega_1 - 2\omega_2 + \omega_3}{3}\right)^2 + (\omega_1 - \omega_3)^2 \right]}{(1 - r^2)^2 \sin^2(T(\omega_1 - \omega_3))} - \frac{\frac{2}{3}r(\omega_1^2 - 2\omega_1\omega_2 + 2\omega_2\omega_3 - \omega_3^2)}{(1 - r^2)^2 \sin^2(T(\omega_1 - \omega_3))}.$$

Для равных парциальных частот:

$$k_{12} = \frac{2(\omega_2 - \omega_1)}{\omega_2 + \omega_1};$$

$$k_{23} = \frac{2(\omega_3 - \omega_2)}{\omega_3 + \omega_2},$$

откуда

$$k = \left( \frac{2\omega_2\omega_3 - 2\omega_1\omega_2}{(\omega_2 + \omega_1)(\omega_3 + \omega_2)} \right).$$

Получив представленное выражение, можно провести эксперимент, который покажет, насколько верны выбранные эмпирически частоты и соотношения между ними. Для этого примем, что является переменной и выполняется соотношение  $\omega_2 = 16\omega_3$ . Тогда, сделав подстановку, можно проверить, выполняется ли эмпирическое соотношение между  $\omega_1$  и  $\omega_2$ . Введем обозначение  $\omega = \omega_2 = 16\omega_3$  и после подстановки получим

$$\left( \frac{32\omega^2 - 2\omega_1\omega}{17\omega(\omega + \omega_1)} \right)^2 = \frac{[C][D] - \frac{2}{3}r(\omega_1^2 - 2\omega_1\omega - 224\omega^2)}{(1 - r^2)^2 \sin^2(T(\omega_1 - 16\omega))},$$

где

$$C = \cos^2\left(\frac{T}{2}(\omega_1 - 16\omega)\right) + r^2 \sin^2\left(\frac{T}{2}(\omega_1 - 16\omega)\right);$$

$$D = \left(\frac{\omega_1 + 14\omega}{3}\right)^2 + (\omega_1 - 16\omega)^2.$$

Выразить зависимость  $\omega$  от  $\omega_1$  из этого выражения затруднительно, но можно построить график зависимости и определить по нему значение  $\omega$  по выбранному значению  $\omega_1$ . Аналогичное выражение можно получить и для зависимости  $\omega_1 = n\omega_2$ :

$$\left( \frac{2\omega_2\omega_3 - 2n\omega_2^2}{(n+1)\omega_2(\omega_3 + \omega_2)} \right)^2 = \frac{[A][B] - \frac{2}{3}r((n^2 - 2n)\omega_2^2 + 2\omega_2\omega_3 - \omega_3^2)}{(1-r^2)^2 \sin^2(T(n\omega_2 - \omega_3))},$$

где

$$A = \cos^2\left(\frac{T}{2}(n\omega_2 - \omega_3)\right) + r^2 \sin^2\left(\frac{T}{2}(n\omega_2 - \omega_3)\right);$$

$$B = \left(\frac{(n-2)\omega_2 + \omega_3}{3}\right)^2 + (n\omega_2 - \omega_3)^2.$$

Полученные выражения неопределенны для  $r = 1$ , из чего следует, что полной согласованности достичь не удастся, а также при  $r = 0$  – решение может быть либо не определено, либо может существовать при равных значениях частот, что приводит к слому иерархии системы планирования.

### Результаты

Если рассмотреть  $T = 365$  дней и перебрать значения  $r$ , то получим зависимости, приведенные на рис. 2.

В реальной практике значения должны быть положительными. Графики допускают не все возможные сочетания значений. Тогда при моделировании перебор сочетаний частот должен приводить к повышению и понижению эффективности. Одно из возможных решений, когда  $\omega_2 = 0,1\omega_1$ . Для  $\omega_1 = 365$  дней,  $\omega_2 = 37$  дней. Если учитывать, что  $\omega_3 = \omega_2/l$ , где  $l = 3 \dots 16$ , то  $\omega_3$  принимает значения от 12 до 2 дней.

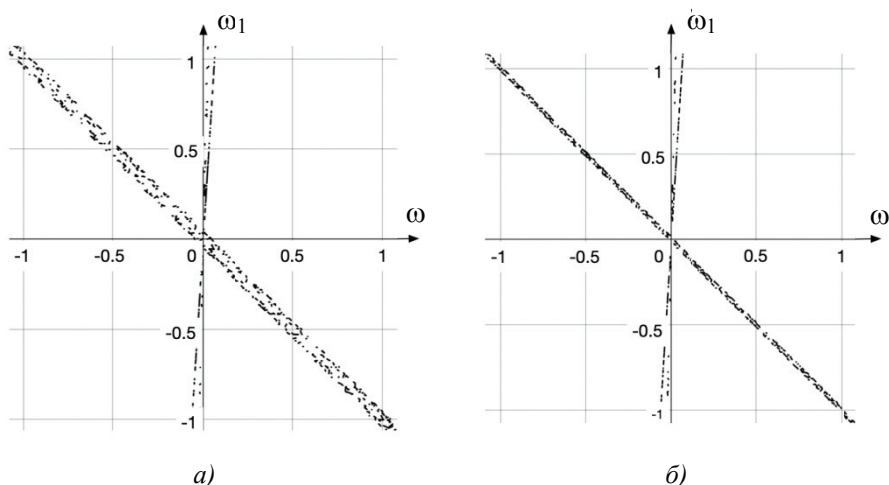
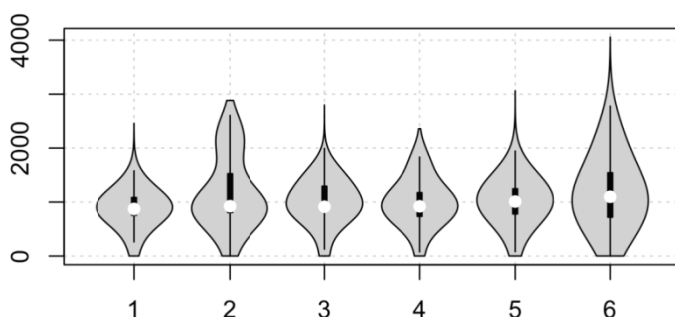
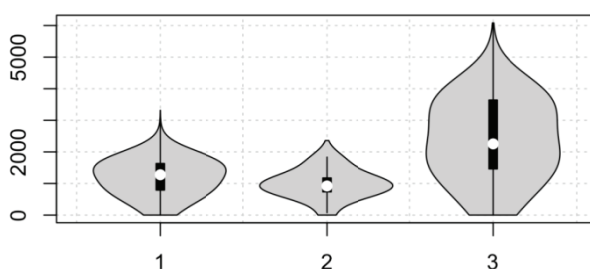


Рис. 2. Графики взаимной связи между частотами  $\omega$  и  $\omega_1$  для значений  $r$ :  
а –  $r = 0,4$ ; б –  $r = 0,9$



**Рис. 3. Скрипичные диаграммы для времени прохождения проектов через контур обработки информации:**

1 –  $S8 = 365, S9 = 96, S6 = 10$ ; 2 –  $S8 = 365, S9 = 29, S6 = 10$ ; 3 –  $S8 = 365, S9 = 36, S6 = 10$ ;  
4 –  $S8 = 365, S9 = 36, S6 = 7$ ; 5 –  $S8 = 365, S9 = 36, S6 = 15$ ; 6 –  $S8 = 365, S9 = 36, S6 = 8$



**Рис. 4. Скрипичные диаграммы для времени прохождения проектов через контур обработки информации:**

1 –  $S8 = 365, S9 = 29, S6 = 7$ ; 2 –  $S8 = 365, S9 = 36, S6 = 7$ ; 3 –  $S8 = 365, S9 = 93, S6 = 7$

Принимая один шаг расчета, равным одному дню, и перебирая различные сочетания частот на интервале моделирования, равном 10 000 шагам, получаем значения для времени обработки проекта (рис. 3).

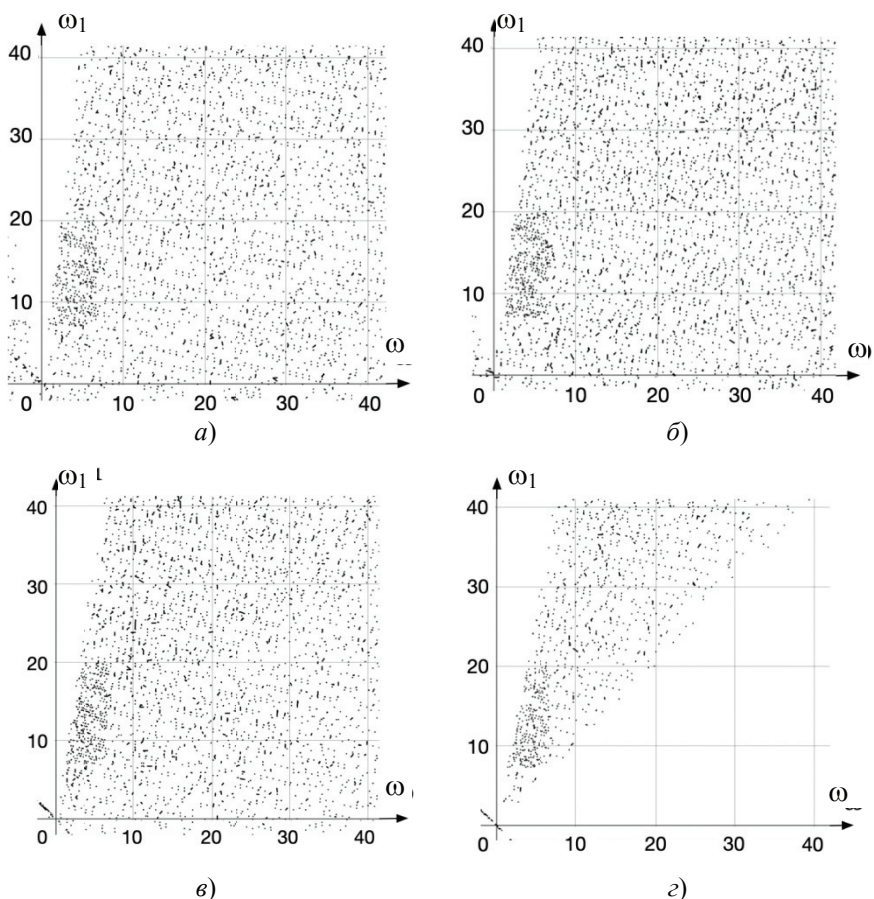
Если перебирать только значения для  $S9$ , то наблюдаем аналогичную закономерность, приведенную на рис. 4 и подтверждающую факт того, что не все значения имеют одинаковую эффективность (принадлежат полученной функции).

Для второй зависимости примем  $n = 10$ . Тогда из полученного ранее выражения получим графики, приведенные на рис. 5 (значения для  $\omega_3$  существуют только при  $0 < r < 0,6$ ).

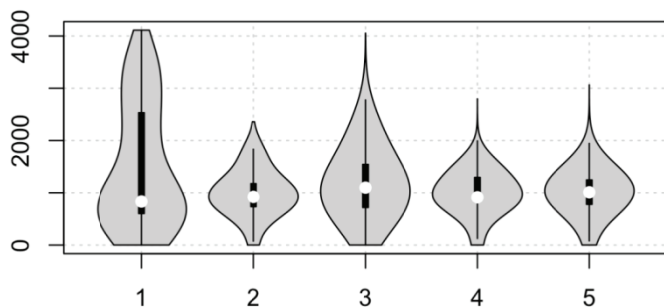
В данном случае также видно, что сочетания пар  $\omega_3$  и  $\omega_2$  принимает только ограниченное число значений. При этом должно выполняться  $\omega_3 < \omega_2$ .

Проведя эксперимент, при котором будем перебирать значения для  $S6$ , получим результаты, приведенные на рис. 6. Из графиков видно, что есть частоты с большей и меньшей эффективностью, что согласуется с данными, полученными теоретически.

Из экспериментов видно, что, с одной стороны, эффективные сочетания частот могут быть найдены теоретически, а также подтверждены или найдены эмпирически. При теоретическом поиске для большого количества осцилляторов решение может оказаться сложным так же, как и для случая с нелинейной сложностью элементов  $V$  в зависимости от числа обращений (например, значений, выдаваемых элементом  $S1$ ). В этом случае сдвиг фаз между осцилляторами будет меняться в зависимости от числа обращений. Однако использование методов имитационного моделирования для перебора возможных сочетаний, как было отмечено во введении, может оказаться ресурсоемким процессом.



**Рис. 5. Графики взаимной связи между частотами  $\omega_2$  и  $\omega_3$  для значений  $r$ :**  
 $a - r = 0,1$ ;  $b - r = 0,2$ ;  $v - r = 0,4$ ;  $z - r = 0,5$



**Рис. 6. Время прохождения проектов через контур обработки информации:**  
 1 –  $S8 = 365, S9 = 36, S6 = 2$ ; 2 –  $S8 = 365, S9 = 36, S6 = 7$ ; 3 –  $S8 = 365, S9 = 36, S6 = 8$ ;  
 4 –  $S8 = 365, S9 = 36, S6 = 10$ ; 5 –  $S8 = 365, S9 = 36, S6 = 15$

Сочетание этих подходов помогает определить диапазоны возможного изменения связанных частот при задании одной из них и тем самым сузить область поиска их эффективных сочетаний. Таким образом, получаем *алгоритм поиска эффективного сочетания частот осцилляторов для периодических процессов в контурах обработки информации.*

*Шаг 1.* Выбираем осциллятор, частоту которого будем задавать сами, и предполагаемое соотношение с частотами других осцилляторов исходя из особенностей и дополнительных данных рассматриваемого процесса.

*Шаг 2.* Записываем, используя модель Курамото, систему уравнений, описывающую взаимную связь частот и фаз.

*Шаг 3.* С учетом имеющейся информации о взаимной связи частот и фаз осцилляторов попарно выражаем связи частот и строим соответствующие графики.

*Шаг 4.* Рассматривая области допустимых значений, определяем области возможного изменения частоты для каждого из осцилляторов, дополняя их ограничениями, которые могут быть сформулированы исходя из особенностей предметной области или рассматриваемых процессов.

*Шаг 5.* Для найденного множества допустимых значений частот перебираем значения и проводим оценку эффективности путем имитации работы контура обработки информации с заданными значениями осцилляторов.

*Шаг 6.* Исходя из полученных значений оценки эффективности, выбираем вариант параметризации значений частот осцилляторов ( $\arg \max_{\omega_1, \dots, \omega_n} J$ , где  $J$  – критерий эффективности;  $n$  – число осцилляторов).

В случае если для реализации рассматривается несколько вариантов конфигурации контура обработки информации, то определение диапазонов изменения значений осцилляторов и оценку эффективности необходимо проделать для каждого из осцилляторов, а уже потом осуществлять выбор варианта на основе данных по оценке эффективности.

### Заключение

Представленный подход позволяет сравнивать варианты реализации контуров обработки информации на основе анализа статистики, получаемой в результате имитации их работы. При наличии в контуре обработки информации элементов с периодической работой для каждой конфигурации контура может сначала находиться наиболее эффективный режим работы, а затем уже происходит сравнение производительности найденных режимов работы, что в свою очередь повышает результативность методов поиска конфигураций структурно-функциональных моделей [15].

#### *Список литературы*

1. Мыльников, Л. А. Структурно-функциональное моделирование в управлении эффективностью информационной инфраструктуры поддержки принятия решений производственных систем / Л. А. Мыльников // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. – 2023. – № 1. – С. 10 – 22.

2. Мыльников, Л. А. Структурно-функциональное моделирование в нотации Event-Driven Process Methodology как инструмент для генерации кода программ, имитирующих процессную деятельность / Л. А. Мыльников, А. Д. Салтыкова // Научно-техническая информация. Серия 2. Информационные процессы и системы. – 2024. – № 12. – С. 1 – 8.

3. Первозванский, А. А. Математические модели в управлении производством / А. А. Первозванский. – М. : Наука, 1975. – 616 с.

4. Benington, H. D. Production of Large Computer Programs / H. D. Benington // IEEE Annals of the History of Computing. – 1983. – Vol. 5, No. 4. – P. 350 – 361.

5. Selby, R. W. Software engineering: Barry W. Boehm's lifetime contributions to software development, management, and research / R. W. Selby. – Hoboken, N.J. : Wiley-IEEE Press, 2007. – 770 p.

6. Yusuf, Y. Agile manufacturing / Y. Yusuf, M. Sarhadi, A. Gunasekaran // International Journal of Production Economics. – 1999. – No. 62(1–2). – P. 33 – 43. doi:10.1016/s0925-5273(98)00219-9
7. Сазерленд, Д. SCRUM. Революционный метод управления проектами / Д. Сазерленд. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2022. – 478 с.
8. Steinke, G. H. Innovating Information System Development Methodologies with Design Thinking / G. H. Steinke, M. Sh. Al-Deen, R. C. LaBrie // Proc. of the 5th International Conference on Applied Innovations in IT, (ICAИТ), March 2017. – Vol. 5. – P. 51 – 55.
9. Рис, Э. Бизнес с нуля: метод Lean Startup для быстрого тестирования идей и выбора бизнес-модели / Э. Рис ; пер. с англ. А. Стативка. – М. : Альпина Паблишер, 2014. – 253 с.
10. Demartini, C. Performance Management Systems: Design, Diagnosis and Use / C. Demartini. – Springer Science & Business Media, 2013. – 215 p.
11. Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system / Y. Sugimori [et al.]. // International Journal of Production Research. – 1977. – Vol. 15, No. 6. – P. 553 – 564.
12. Kuramoto, Y. Self-Entrainment of a Population of Coupled Non-Linear Oscillators / Y. Kuramoto. – Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 1975. – P. 420 – 422. doi: 10.1007/BFb0013365
13. Мыльников, Л. А. Нотация Event-driven Process Methodology для исследования информационных процессов / Л. А. Мыльников, А. Д. Салтыкова, З. Ж. Аврамович // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. – 2024. – № 7. – С. 19 – 30.
14. Blanter, E. M. Synchronization of the asymmetrical system with three non-identical Kuramoto oscillators: models of solar meridional circulation / E. M. Blanter, M. S. Elaeva, M. G. Shnirman // Computer Research and Modeling. – 2020. – Vol. 2, No. 12. – P. 345 – 356. doi:10.20537/2076-7633-2020-12-2-345-356
15. Мыльников, Л. А. Поиск эффективных топологий структурно-функциональных моделей процессной деятельности / Л. А. Мыльников, С. Л. Мыльникова, З. Ж. Аврамович // Научно-техническая информация. Серия 2. Информационные процессы и системы. – 2025. – № 3. – С. 1 – 7.

---

## Increasing the Efficiency of Production Systems by Synchronizing Planning Processes when Updating a Set of Production Projects

L. A. Mylnikov✉

*Department of Design of Radioelectronic and Microprocessor Systems,  
leonid.a.mylnikov@gmail.com; TSTU, Tambov, Russia*

**Keywords:** information processing loop; Kuramoto model; set of production projects; EdPM notation; production system; statistical research; structural and functional modeling.

**Abstract:** It is proposed to use the description of information processing loops in EdPM notation and the Kuramoto model to reduce the set of possible options. The problem is considered using the example of the relationship between the strategic, tactical and operational planning levels adopted in production systems. The effectiveness of the information processing circuit for solving the problem of updating a set of production projects was assessed by means of a statistical study of the data obtained as a result of simulating its operation.

## References

1. Myl'nikov L.A. [Structural and functional modeling in managing the efficiency of the information infrastructure for supporting decision-making in production systems], *Nauchno-tekhnicheskaya informatsiya. Seriya 2: Informatsionnyye protsessy i sistemy* [Scientific and technical information. Series 2: Information processes and systems], 2023, no. 1, pp. 10-22. (In Russ., abstract in Eng.)
2. Myl'nikov L.A., Saltykova A.D. [Structural and functional modeling in the Event-Driven Process Methodology notation as a tool for generating code for programs that simulate process activities], *Nauchno-tekhnicheskaya informatsiya. Seriya 2. Informatsionnyye protsessy i sistemy* [Scientific and technical information. Series 2. Information processes and systems], 2024, no. 12, pp. 1-8. (In Russ., abstract in Eng.)
3. Pervozvanskiy A.A. *Matematicheskiye modeli v upravlenii proizvodstvom* [Mathematical models in production management], Moscow: Nauka, 1975, 616 p. (In Russ.)
4. Benington H.D. Production of Large Computer Programs, *IEEE Annals of the History of Computing*, 1983, vol. 5, no. 4, pp. 350-361.
5. Selby R.W. *Software engineering: Barry W. Boehm's lifetime contributions to software development, management, and research*, Hoboken, N.J: Wiley-IEEE Press, 2007, 770 p.
6. Yusuf Y., Sarhadi M., Gunasekaran A. Agile manufacturing, *International Journal of Production Economics*, 1999, no. 62(1-2), pp. 33-43. doi:10.1016/s0925-5273(98)00219-9
7. Sazerlend D. *SCRUM. Revolyutsionnyy metod upravleniya proyektami* [SCRUM. A revolutionary method of project management], Moscow: Mann, Ivanov i Ferber, 2022, 478 p. (In Russ.)
8. Steinke G.H., Al-Deen M.Sh., LaBrie R.C. Innovating Information System Development Methodologies with Design Thinking, *Proc. of the 5th International Conference on Applied Innovations in IT, (ICAIIIT)*, March 2017, vol. 5, pp. 51-55.
9. Ries E. *Business from scratch: the Lean Startup method for quickly testing ideas and choosing a business model*, Moscow: Al'pina Publisher, 2014, 253 p.
10. Demartini C. *Performance Management Systems: Design, Diagnosis and Use*, Springer Science & Business Media, 2013, 215 p.
11. Sugimori Y. [et al.]. Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system, *International Journal of Production Research*, 1977, vol. 15, no. 6, pp. 553-564.
12. Kuramoto Y. *Self-Entrainment of a Population of Coupled Non-Linear Oscillators*, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 1975, pp. 420-422. doi: 10.1007/BFb0013365
13. Myl'nikov L.A., Saltykova A.D., Avramovich Z.Zh. [Notation Event-driven Process Methodology for studying information processes], *Nauchno-tekhnicheskaya informatsiya. Seriya 2: Informatsionnyye protsessy i sistemy* [Scientific and technical information. Series 2: Information processes and systems], 2024, no. 7, pp. 19-30. (In Russ., abstract in Eng.)
14. Blanter E.M., Elaeva M.S., Shnirman M.G. Synchronization of the asymmetrical system with three non-identical Kuramoto oscillators: models of solar meridional circulation, *Computer Research and Modeling*, 2020, vol. 2, no. 12, pp. 345-356. doi:10.20537/2076-7633-2020-12-2-345-356
15. Myl'nikov L.A., Myl'nikova S.L., Avramovich Z.Zh. [Search for effective topologies of structural-functional models of process activity], *Nauchno-tekhnicheskaya informatsiya. Seriya 2: Informatsionnyye protsessy i sistemy* [Scientific and technical information. Series 2: Information processes and systems], 2025, no. 3, pp. 1-7. (In Russ., abstract in Eng.)

## **Steigerung der Effizienz von Produktionssystemen durch Synchronisierung von Planungsprozessen bei der Aktualisierung mehrerer Produktionsprojekte**

**Zusammenfassung:** Es ist vorgeschlagen, die Beschreibung der Konturen der Informationsverarbeitung in der EdPM-Notation und das Kuramoto-Modell zu verwenden, um die Menge der möglichen Varianten zu reduzieren. Das Problem ist am Beispiel der Verflechtung von strategischen, taktischen und operativen Planungsebenen in Produktionssystemen betrachtet. Die Effizienz der Informationsverarbeitungsschleife zur Lösung des Problems der Aktualisierung einer Reihe von Produktionsprojekten ist durch die statistische Untersuchung der Daten bewertet, die als Ergebnis der Simulation ihrer Arbeit erhalten worden sind.

---

## **Augmentation de l'efficacité des systèmes de la production compte tenu de la synchronisation des processus de la planification de la multitude des projets de production**

**Résumé:** Est proposé d'utiliser la description des contours de traitement de l'information dans la notation EdPM et du modèle Kuramoto pour réduire les nombreuses options possibles. Est examinée la tâche en prenant l'exemple de la relation entre les niveaux de planification stratégique, tactique et opérationnel adoptés dans les systèmes de production. Est réalisée une évaluation de l'efficacité du circuit de traitement de l'information pour résoudre le problème de l'actualisation de nombreux projets de production en examinant statistiquement les données obtenues à partir de la simulation de son travail.

---

**Автор:** *Мыльников Леонид Александрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов Россия.