

УДК 658.512.2

DOI: 10.30987/1999-8775-2020-11-18-25

А.П. Попов, А.Н. Запольская, Т.А. Попова

МНОГОВАРИАНТНЫЙ ПОДХОД В РЕШЕНИИ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ СОСТАВЛЕНИЯ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ МАРШРУТОВ ОБРАБОТКИ

Проведены исследовательские изыскания по проблематике внедрения автоматизированного производства были построены математические модели, включающие учет однофазной и многофазной систем массового обслуживания. Выводились стоимостные параметры для оценки вариантов технологических процессов.

Подтвердилась гипотеза о целесообразности определения функциональных параметров технологического процесса с последующим выбором оптимального решения.

Ключевые слова: структура, оптимизация, Марковские модели, технологические методы, автоматизация.

А.Р. Popov, А.N. Zapolskaya, Т.А. Popova

MULTICHOICE APPROACH TO SOLUTION OF OPTIMIZATION PROBLEMS OF ALGORITHMIC DESCRIPTION FORMATION OF PROCESSING ROUTES

The paper is aimed at the solution of the problem in the formation of multi-level structural optimization of promising technological processes. Here there is manifested the necessity in thorough development of algorithmic problems on the formation of the best technological route for components and units processing taking into account requirements to quality and choice of the smallest cost characteristics of an industrial process.

At the solution of optimization problems in engineering process designing there are used simulators reflecting basic principles of production work functioning.

The search of an optimum solution was carried out by a mechanism of threshold structural optimization realization on network graphs. In the course of the investigation fulfillment on the problems of automated

production introduction there were formed simulators taking into account single-phase and multi-phase systems of mass maintenance.

At that to the first place there were moved cost parameters for the assessment of engineering process versions. In such a way was confirmed a hypothesis on the purposefulness of the definition of engineering process functional parameters with the further choice of an optimum solution.

Conclusions: time decrease, high quality, and also a financial profit can be complex for the majority of real applications, therefore the majority of optimization methods try to find an ideal method for the solution of limited resources problem in the framework of different limitations.

Key words: structure, optimization, Markov's models, technological methods, automation.

Введение

Центральное место в технологической подготовке технического перевооружения занимает функция проектирования перспективных технологических процессов, являющихся информационной основой решения всех проектных задач.

Разработка перспективных и директивных технологических процессов реализует системную функцию технологии в научно-техническом развитии производства. Это определяет важность поиска оптимальных решений при проектировании

алгоритмов технологических процессов с целью получения максимального эффекта от технического перевооружения.

В условиях динамики современного машиностроения, включающего в себя многие направления, отвечающие за жизнеобеспечение людей. Производственные процессы его технического перевооружения занимают одно из центральных мест в общей системе регулирующих факторов научно-технического развития предприятий. При этом, технологическая подготов-

ка названных мероприятий является необходимым атрибутом, обеспечивающим достижение основных целей технического перевооружения и реконструкции с минимальными капитальными затратами и максимальным технико-экономическим эффектом.

Структурная оптимизация перспективных технологических процессов должна охватывать все уровни производственно-технологических подходов (ПТП) с целью получения максимального эффекта в процессе технического перевооружения производства.

Понятно, что такой широкий круг оптимизационных задач можно решать

только системно с широким использованием единого комплекса компьютерных средств, подкрепленных необходимым методическим обеспечением.

Данная работа нацелена на решение проблемы создания системы многоуровневой структурной оптимизации перспективных технологических процессов. Здесь отражается необходимость тщательной проработки алгоритмических задач по построению наилучшего технологического маршрута обработки компонентов и узлов с учетом требований по качеству и выбору наименьших стоимостных характеристик производственного процесса.

Оптимизация структуры на уровне маршрутного описания

Чаще всего не представляется возможным использовать марковские модели для описания систем массового обслуживания [1]. Поэтому предлагается прибегать к составлению математического описания процессов обслуживания с учетом специфики реальных условий функционирования.

Оптимизация перспективных технологических процессов на уровне маршрутного описания предусматривает значительную многовариантность задачи, определяемую выбором исходной заготовки, методами технологической обработки, средствами технологического оснащения, включая технологическое оборудование, уровнем концентрации и дифференциации технологических операций и т.д. Поэтому её реализация методами линейного программирования становится технически невозможной из-за чрезмерно большого количества уравнений связи между элементами структуры, формирующих матрицу данных из сотен тысяч элементов.

Наиболее приемлемым в качестве математической модели, формирующей допустимое оптимизационное множество решений, является применение сетевых орграфов $G = (X, U)$ с отношением порядка между вершинами.

Построение такой модели применительно к структурной оптимизации пер-

спективных технологических процессов сводится к следующему.

Допустимый вариант структуры определяется на таком графе полным путем, соединяющем вершину входа x' с вершиной выхода x'' сети. В связи с этим, за основу построения модели берется элементарный сетевой граф, содержащий единственный путь Ω^* , соединяющий вышеназванные вершины (рис.1) и являющийся отображением структуры базового технологического процесса.

В качестве такой базы в проектах технического перевооружения и конверсии действующего производства выбирается директивный или действующий технологический процесс. Это обеспечивает преемственность перспективного технологического процесса с учетом возможностей максимального улучшения его технико-экономических показателей.

Качественное варьирование технологическим процессом, оказывающее влияние на его выходные параметры, используемые в качестве критериев оптимизации, обеспечивается изменением внутренних регулируемых параметров.

В связи с этим, процесс построения математической модели основан на анализе структуры технологического процесса, описываемого путем Ω^* , по факторам, характеризующим именно регулируемые параметрами.

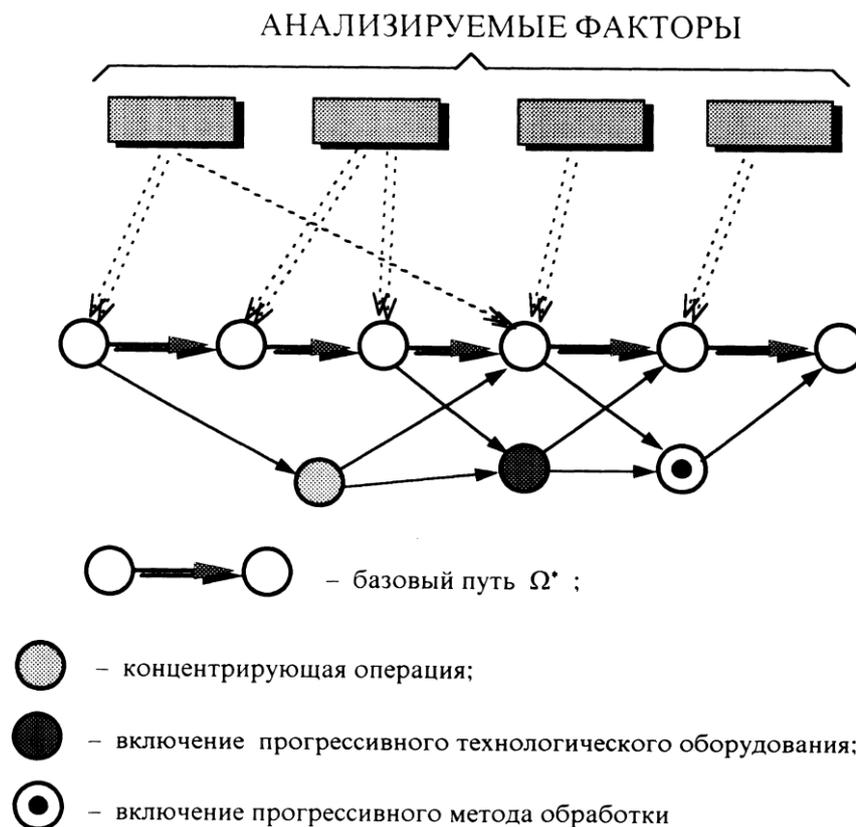


Рис.1 Схема технологического анализа при построении модели

Основная группа факторов, используемых в анализе, это факторы, определяющие уровень технологического процесса: использование прогрессивных технологических методов обработки по формированию специальных свойств поверхностей заготовки, применение высокопроизводительного автоматизированного технологического оборудования, робототехнических комплексов, элементов автоматизированного производства (АП).

Сложность современных инженерных систем, включающих объекты с высокой единичной мощностью, приводит к отказу от классических методов управления, основанных на описании их работы в виде дифференциальных уравнений, и переходу к алгоритмическим описаниям. Нечеткие системы управления, которые находят все большее применение в различных областях, включая создание сложных систем управления, строятся по этому принципу.

Для наилучшего представления принципов функционирования и влияния различных факторов составляют графы

состояний системы. Таким образом, получаемая модель позволит составить калькуляцию стоимости производственной системы.

Как уже было отмечено [2, 3], отдельным значимым звеном по диаграмме входимости являются собственные затраты, называемые «стоимость собственных работ». Таким образом, становится возможным ввести в модель необходимые затраты на конкретный производственно-технологический процесс.

Стоимость устройства на любом производственном уровне определяется выражением:

$$\sigma_i = \sigma_{i(c.p)} + \sum_{j=1}^k \sigma_{ij}$$

где σ_i – стоимость звена высшего уровня; σ_{ij} – стоимость j -го звена низшего уровня, входящего в i -е звено; $\sigma_{i(c.p)}$ – стоимость собственных работ i -го звена.

Принимая $\sigma_{i(c.p)} = \sigma_{i(k+1)}$, формулу стоимости можно записать в виде

$$\sigma_i = \sum_{j=1}^{k+1} \sigma_{i,j}$$

Подобные задачи из-за значительно-го количества влияющих факторов следует решать методом статистического анализа. Так, имея собранные данные о влиянии технических параметров комплекса технических средств (КТС) на стоимость конкретного узла можно выделить приближенные зависимости стоимости от векторов параметров, используя регрессионный анализ. Для этих целей применяются функции Кобба–Дугласа, которые являются частными видами степенных функций, представленные ниже [5].

$$\sigma = k \prod_{j=1}^{m'} x_j^{\alpha_j}$$

где σ - «стоимость» изделия; k – константа; x_j – j -я составляющая вектора технических параметров X ; α_j – некоторая константа, характеризующая вес затрат для достижения заданного значения j -й составляющей вектора качества.

По определению, вектору качества $(t'+1)$ -го порядка соответствует $(t'+1)$ -мерная стоимостная характеристика, представляющая собой m' -мерную поверхность в $(t'+1)$ -мерном пространстве.

Полученные данные, подставляя в математическую модель технологических процессов, позволяют решить алгоритмическую задачу и разработать оптимальный технологический процесс. Примером перехода к алгоритмическому управлению можно отнести создание нечетких систем управления. Следует отметить, что такой процесс подразумевает переход к дискретной форме [4, 5].

Еще одним примером перехода к алгоритмическому управлению является создание нечетких систем управления. При этом проводится анализ технологических параметров, представленных в виде членов функции принадлежности [6] и формируются причинно-следственные данные по управляющим воздействиям.

Новые методы дают некоторые преимущества при построении нечетких систем управления с точки зрения их более

глубокого изучения, выявления нештатных и аварийных ситуаций, учета технологических условий в алгоритмах управления, влияния возмущающих переменных и параметров объекта. В новом варианте есть возможность отказаться от знаний специалистов, если была составлена адекватная модель объекта на уровне нечетких диаграмм поведения узлов и рассмотрения их совместной работы как совокупности узлов меток.

Наряду с вышеназванными параметрами в анализе участвует фактор концентрации технологических операций. Данный фактор относится к внутренним регулирующим воздействиям на уровне операционного описания технологического процесса. Между тем, он учитывается при построении модели по следующим причинам:

- концентрация технологических операций не может рассматриваться отдельно на операционном уровне в задаче структурной оптимизации, поскольку состав её переходов определяет структуру других операций того же маршрута;

- использование моделей описываемого класса позволяет учитывать данный фактор при структурной оптимизации на уровне маршрутного описания.

Кроме этого, в анализе участвуют факторы, определяющие эффективность основного уровня структуры перспективного технологического процесса - уровня технологических переходов.

И если выходные параметры, как правило активно используются в качестве критериев функциональной оптимизации на нижнем структурном уровне, то на верхнем уровне они становятся в данном качестве недоступными. Единственная возможность их использования в структурной оптимизации – это вовлечение определяющих их факторов в построении математической модели на рассматриваемом уровне.

Таким образом, можно окончательно определить систему факторов и показателей, задействованных в системном анализе при построении математической модели, представленных в виде описываемых функциональных параметров (рис. 2).

Процедура структурной оптимизации на сетевых графах предусматривает нормирование модели по используемым критериям оптимизации. Для этого каждой вершине графа $x_i \in \bar{X}$ ставится в соответствие значение основного $\varepsilon^0(x_i)$ и множества второстепенных $\{\varepsilon^j(x_i)\} (j \in [1, m])$ критериев оптимизации.

В качестве основного критерия, как правило, используются приведенные затраты на реализацию технологической операции, рассчитываемые по формуле $\varepsilon^0(x_i) = (c^1 t_{um})/60$, где $1c$ – часовые приведенные затраты на один час работы технологического оборудования, используемого на технологической операции, соответствующей x_i , вершине графа, руб/час; t шт – штучно-калькуляционное время на выполнение той же операции, мин.

Часовые приведенные затраты могут рассчитываться аналитически, выбираться таблично [7] или определяться с использованием эмпирических моделей [8].

Данный критерий относится к одному из выходных параметров на рассматриваемом уровне описания структуры.

В качестве второстепенных критериев оптимизации выбираются либо дополнительные параметры из множества выходных (технологическая производительность), либо из множества внутренних регулируемых, которые трудно непосредственно связать с выходными, но для которых имеется определенность в их влиянии на эффективность технологии (коэффициент синхронизации операций, удельная площадь под оборудование, удельное количество станков и др.).

Кроме этого, во множество второстепенных могут включаться критерии орга-

низационного, социального и другого характера, которые не направлены на повышение эффективности технологии, но ограничивают выбор оптимального решения (например, ограничения по площадям, трудовым и материальным ресурсам). Это еще одно преимущество использования пороговой оптимизации при построении структуры перспективного технологического процесса.

Построение моделей производственных процессов позволит провести оценку динамики функционирования для выбранных вариантов структур технологических процессов и обеспечить контроль экономических показателей и соблюдение требуемого режима по выпуску продукции при внедрении нового технологического оборудования и устройств. Более подробно это описано в [9, 10].

Для выбора вариантов технологических процессов анализируются модели однофазной и многофазной систем массового обслуживания и оценка стоимостных характеристик. Поэтому разработка подобных моделей крайне актуальна для оценки функциональных параметров.

Ввиду специфики при различных технологических операциях: последовательной операции, сборке или разветвленной операции формируется модель, определяющая производственный маршрут [11].

Неформализуемые критерии оптимизации, которые позволяют учитывать используемый метод, в нормировании модели не участвуют, а непосредственно используются при постоптимизационной доработке полученного решения.

Выводы

В последнее время оптимизация становится одним из самых интересных вопросов в различных жизненных аспектах, таких как инженерное проектирование, просмотр интернета, управление бизнесом и т.д. Сокращение времени, высокое качество, а также финансовая прибыль могут быть сложными для большинства реаль-

ных приложений. Поэтому большинство оптимизационных методов пытаются найти идеальный метод для решения проблемы ограниченных ресурсов в рамках различных ограничений. Для решения оптимизационных задач было реализовано множество эффективных алгоритмов по-

иска, использующих математические формулы и вычислительные модели.

Поиск оптимального решения r_{opt} осуществляется механизмом реализации пороговой структурной оптимизации на сетевых графах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зубарев, Ю.Я. Вероятностные характеристики стационарных процессов в комбинированных многоканальных сетях систем массового обслуживания / Ю.Я. Зубарев, Д.С. Ловяников // Перспективы развития информационных технологий. – 2014. – №17. – С. 62-66.
2. Митрофанов, В.Г. Моделирование задачи проектирования комплекса технических средств АСУ/ В.Г. Митрофанов, А.П. Попов // Вестник Самарского государственного технологического университета. Серия «Технические науки». – 2009. – № 2(24). – С. 172.
3. Попов, А.П. Экономическое содержание задачи о построении оптимального комплекса технических средств систем управления автоматизированными станочными комплексами/ А.П. Попов // Вестник МГТУ «Станкин». – 2009. – №4(8). – С. 114.
4. Magergut, V.Z. Algorithmic Approaches to Synthesis Fuzzy Control Systems for Objects with Continuous Technology / V.Z. Magergut, A.G. Bazhanov, R.A. Vashchenko // World Applied Sciences Journal. – 2013. – №24 (10). – С 1291-1295. - DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.24.10.7003.
5. Магергут, В.З. Подходы к построению дискретных моделей непрерывных технологических процессов для синтеза управляющих автоматов/ В.З. Магергут, В.А. Игнатенко, А.Г. Бажнов, В.Г. Шапталова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2013. – №2. – С.100-102.
6. Круглов, В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. - М.: ФИЗМАТЛИТ. – 2001. – 224 с.
7. Тетерин, Г.П. Автоматизация технологических расчетов при проектировании механических цехов машиностроительных заводов/ Г.П. Тетерин, С.А. Авербах // Автоматизация технической подготовки производства. Вып.1 / ИТК АН БССР. – 1981. – С. 88-99.
8. Анфёров, М.А. Выбор перспективных технологических процессов при техническом перевооружении производства / М.А. Анфёров, С.Г. Селиванов, Е.Н. Васильева и др // Технология авиационного приборо- и агрегатостроения. - 1983. - № 2. - С. 55-58.
9. Андрейчиков, А.В. Интеллектуальный метод синтеза технологических инновация /А.В. Андрейчиков // Изв.вузов. Машиностроение. - 2003. - №10. - С.47-62.
10. Артюх, Р.В. Метод оценивания характеристик последовательных технологических процессов на основе систем массового обслуживания/ Р.В. Артюх. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-otsenivaniya-harakteristik-posledovatelnyh-tehnologicheskikh-protsessov-na-osnove-sistem-massovogo-obsluzhivaniya> (дата обращения: 05.04.2020).
11. Шепеленко Г.И. Экономика, организация и планирование производства на предприятии / Г.И. Шепеленко. – Изд. Центр «МарТ», Феникс. – 2010. – 608 с.
1. Zubarev, Yu.Ya. Probabilistic characteristics of stationary processes in combined multi-channel networks of mass service systems / Yu.Ya. Zubarev, D.S. Lovyannikov // *Outlooks in Information Technology Development*. – 2014. – No.17. – pp. 62-66.
2. Mitrofanov, V.G. Modeling problems in design of ACS engineering means complex / V.G. Mitrofanov, A.P. Popov // *Bulletin of Samara State Technological University. "Engineering Sciences" Series*. – 2009. – No.2(24). – pp. 172.
3. Popov, A.P. Economic content of problem on engineering means complex optimum formation for control systems of automated machine complexes/ A.P. Popov // *Bulletin of MSTU "STANKIN"*. – 2009. – No.4(8). – pp. 114.
4. Magergut, V.Z. Algorithmic Approaches to Synthesis Fuzzy Control Systems for Objects with Continuous Technology / V.Z. Magergut, A.G. Bazhanov, R.A. Vashchenko // World Applied Sciences Journal. – 2013. – №24 (10). – С 1291-1295. - DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.24.10.7003.
5. Magergut, V.Z. Approaches to formation of discrete models of continuous engineering processes for control automated device synthesis / V.Z. Magergut, V.A. Ignatenko, A.G. Bazhnov, V.G. Shaptalova // *Bulletin of Shukhov State Technological University of Belgorod*. – 2013. – No.2. – pp. 100-102.
6. Kruglov, V.V. *Fuzzy Logic and Artificial Neuron Networks* / V.V. Kruglov, M.I. Dly, R.Yu. Golunov. – М.: PHYSMATHLIT. – 2001. – pp. 224.

7. Teterin, G.P. Automation of technological calculations as design of machine workshops of machine building enterprises/ G.P. Teterin, S.A. Averbach // *Pre-Production Automation. Issue 1* / ИТК АС БССР. – 1981. – pp. 88-89.
8. Anfyorov, M.A. Choice of promising engineering processes at engineering re-equipment of production / M.A. Anfyorov, S.G. Selivanov, E.N. Vasiliyeva et al. // *Technology of Aircraft Instrument and Unit Making*. – 1983. – No.2. – pp. 55-58.
9. Andreychikov, A.V. Intellectual method of technological innovation synthesis / A.V. Andreychikov // *College Proceedings. Mechanical Engineering*. 2003. – No.10. – pp. 47-62.
10. Artyukhov, R.V. *Method for Assessment Sequential Engineering Process Characteristics Based on Mass Service System*/ R.V. Artyukh. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-otsenivaniya-harakteristik-posledovatelyh-tehnologicheskikh-protsessov-na-osnove-sistem-massovogo-obsluzhivaniya> (address date: 05.04.2020.)
11. Shepelenko, G.I. *Economy, Organization and Planning of Production at Enterprise* / G.I. Shepelenko. – “MarT”, “Phoenix. – 2010. – pp. 608.

Ссылка цитирования:

Попов, А.П. Многовариантный подход в решении оптимизационных задач составления алгоритмического описания маршрутов обработки / А.П. Попов, А.Н. Запольская, Т.А. Попова // *Вестник Брянского государственного технического университета*. – 2020. – № 11. – С. 18-25. DOI: 10.30987/1999-8775-2020-11-18-25.

Статья поступила в редакцию 04.07.20.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета

Петрешин Д.И.,

член редсовета журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 27.10.20.

Сведения об авторах:

Попов Александр Петрович, к.т.н., доцент кафедры «ТТМ и РПС» Российский университет транспорта (МИИТ), тел. +7-916-164-77-35, e-mail: pap60@bk.ru.

Запольская Анна Николаевна, к.социол.наук, Институт конструкторско-технологической инфор-

Popov Alexander Petrovich, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. “ТТМ&RPS”, Russian University of Transport (MIIT), phone: +7-916-164-77-35, e-mail: pap60@bk.ru.

Zapolskaya Anna Nikolaevna, Can. Sc. Sociol., Institute of Design-Technological Informatics of

матики РАН, тел.: +7903-613-57-78, e-mail: Zapann@yandex.ru.

Попова Татьяна Александровна, преподаватель кафедры «КПРЭС» Российский технический университет МИРЭА, тел.+7-917-560-73-35, e-mail: tatiana241187@gmail.com.

RAS, phone: +7-903-613-57-78, e-mail: Zapann@yandex.ru.

Popova Tatiana Alexandrovna, Lecturer of the Dep. “KPRES”, Russian Technical University of MIREA, phone: +7-917-560-73-35, e-mail: tatiana241187@gmail.com.