

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ МЕЖДУ ОПЕРАЦИЯМИ НЕПРЕРЫВНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА<sup>1</sup>

*Р.В. Петров, А.И. Якимов, К.В. Захарченков*

В статье представлена имитационная модель непрерывного производственного процесса и ее применение для оптимизации распределения нагрузки между операциями. Разработанная имитационная модель позволяет моделировать непрерывные производственные процессы сложной структуры при наличии сбоев и отказов в работе оборудования.

Ключевые слова: имитационное моделирование, непрерывный производственный процесс

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Научная работа посвящена оптимизации непрерывного производственного процесса (ПрП), путем построения имитационной модели (ИМ) и определения оптимальных параметров загрузки оборудования, при заданных ограничениях.

Разработанная система может применяться при проектировании и анализе существующих непрерывных ПрП на предприятиях машиностроения, приборостроения и т.д., обеспечивая информацию для принятия решений по производственному процессу [1].

В соответствии со стандартом MRPII, система управления предприятием должна включать такие функции, как планирование производственных мощностей, планирование производственных операций, управление на уровне производственных цехов. Разработанная система позволяет реализовать перечисленные функции, используя методы имитационного моделирования [2].

Следует подчеркнуть, что получившие широкое распространение и признание, как в отечественной, так и в зарубежной литературе методики расчета производственной мощности предприятия, цеха, участка основаны либо на принципе прямого счета, либо на принципе оптимизации загрузки оборудования с помощью линейно-программной модели. Расчеты на их основе выполняются для целей текущего (годового, квартального) планирования выпуска продукции. Используемая для этого информация является не только существенно агрегированной, но и не учитывает непрерывность технологического процесса, его цикличность и партионный характер движения предметов труда от одной производственной операции к другой [8].

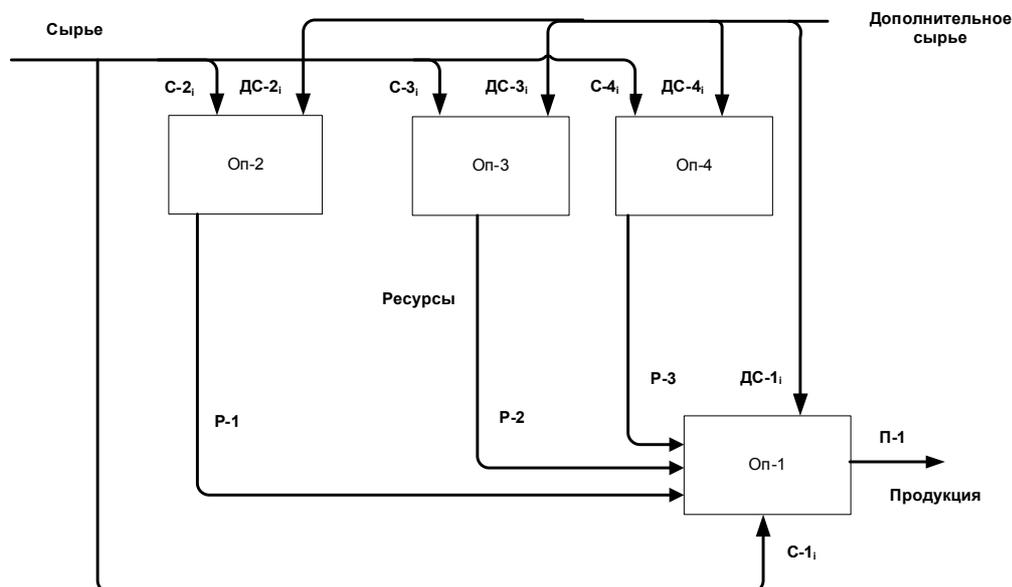
Таким образом, рассматриваемая проблема требует учет существенных признаков непрерывного производственного процесса и показателей, адекватно характеризующих его динамику. В этой связи можно отметить, что один из возможных подходов к ее решению является имитационное моделирование непрерывного производственного процесса [3]. Эффективным средством построения имитационных моделей на основе процессного способа является программно-технологический комплекс имитации (ПТКИ) BelSim[9,10].

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках ХД0663 «Разработка динамической производственно-экономической модели завода органического синтеза»

## 2. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ

На *рисунке 1* выделены основные операции производственного процесса.



*Рис. 1.* Схема производственного процесса

В результате проведенного анализа было определено, что рассматриваемый производственный процесс состоит из четырех производственных операций: Оп-1, Оп-2, Оп-3, Оп-4. Операции Оп-2, Оп-3, Оп-4 преобразуют сырье С-2, С-3, С-4 и дополнительное сырье ДС-2, ДС-3 и ДС-4 в ресурсы Р-1, Р-2, Р-3 соответственно, а операция Оп-1 производит из этих ресурсов Р-1, Р-2, Р-3 сырьё С-1 и дополнительное сырьё ДС-1 продукцию П-1. Каждая из производственных операций Оп-1, Оп-2, Оп-3, Оп-4 характеризуется своей нормой потребления сырья и ресурсов, а также и своей нормой выпуска продукции.

Исходя из приведенной на *рисунке 1* схемы, можно сделать вывод, что себестоимость продукции П-1 определяется загруженностью операций Оп-2, Оп-3, Оп-4 и себестоимостью производимых ими ресурсов (Р-1, Р-2, Р-3). Таким образом, меняя загруженность этих операций и определяя себестоимость продукции, при заданной норме выпуска можно определить оптимальные параметры производственного процесса.

## 3. ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ НЕПРЕРЫВНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

Имитационная модель производственного процесса реализуется на основе процессного подхода моделирования [5]. Выделим следующие необходимые процессы:

1. Процесс, моделирующий работу производственной операции;
2. Процесс, определяющий состояние производства и собирающий статистические данные.

Проанализировав работу производства, для каждого процесса определим алгоритмы функционирования:

Алгоритм процесса моделирующего производственную операцию состоит из трех стадий: запуск, производство, окончание. Для того чтобы данный процесс моделировал непрерывное производство, разобьем его на  $n$  дискретных отрезков, и в процессе работы данный процесс будет запускаться в  $n$  раз чаще, однако потреблять ресурсов и производить продукции он будет в  $n$  раз меньше. При каждом запуске порции произведен-

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ МЕЖДУ ОПЕРАЦИЯМИ НЕПРЕРЫВНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

ной продукции будут сдвигаться на один отрезок вперед, а только что произведенная продукция будет помещаться в первый отрезок. Продукция из последнего отрезка будет отгружаться на склад.

На стадии ЗАПУСК проверяется наличие ресурсов на складе и если они есть, то происходит их выделение и добавление порций готовой продукции в первый отрезок, если ресурсов на складе недостаточно, то первый отрезок помечается пустым. На стадии ПРОИЗВОДСТВО организуется движение продукции из одного отрезка в другой. Также на этой стадии происходит моделирование сбоев и отказов. Для этого в начале работы модели определяется время наступления отказа и сбоя для каждой операции, и при наступлении этого момента происходит задержка производства, с возможной потерей продукции. На стадии ОКОНЧАНИЕ происходит отгрузка полученной продукции на склад. Таким образом, выполняя рассмотренные стадии в порядке ОКОНЧАНИЕ, ПРОИЗВОДСТВО, ЗАПУСК получаем алгоритм, полностью моделирующий непрерывную производственную операцию с учетом сбоев и отказов. Следует заметить, что при числе отрезков равном 1 данный алгоритм будет моделировать дискретную производственную операцию.

Алгоритм процесса, определяющего состояние производства и собирающего статистические данные, состоит из двух стадий: анализ текущих данных модели и вывод статистики.

### 4. ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ МЕЖДУ ОПЕРАЦИЯМИ

Для заданного непрерывного ПрП необходимо определить минимальную себестоимость продукции, при заданной норме выпуска 600 единиц. В таблице 1 указана себестоимость сырья. Ограничения на выработку ресурсов приведены в таблице 2. Структурная схема ПрП приведена на *рисунке 1*, а параметры приведены в таблице 3.

**Таблица 1. Себестоимость основного и дополнительного сырья**

Наименование ресурса	Цена	Наименование ресурса	Цена
Сырье-1	700000	Дополнительное сырье-11	50
Сырье-2	170000	Дополнительное сырье-12	10000
Сырье-4	1500	Дополнительное сырье-13	25
Сырье-5	200	Дополнительное сырье-14	50
Сырье-6	3500	Дополнительное сырье-15	60
Сырье-7	20	Дополнительное сырье-16	100000
Сырье-8	1500		
Сырье-19	7042		

**Таблица 2. Ограничения для операций по выработке ресурса**

Значение выработки	Выработка ресурса по операциям		
	Операция-2 (Ресурс-2)	Операция-3 (Ресурс-3)	Операция-4 (Ресурс-4)
Минимальное	100	100	185
Номинальное	200	200	370
Максимальное	220	220	410

**Таблица 3. Исходные данные реального производственного процесса**

Операция-1			Операция-2		
Основное сырье	Количество		Основное сырье	Количество	
			Сырье-1	0,63	
			Сырье-2	0,38	
			Сырье-19	2,00	
Сырье-4	10,00		Сырье-4	14,80	
			Сырье-7	0,10	
			Сырье-8	0,20	
Дополнительное сырье	В	К	Дополнительное сырье	В	К
Дополнительное сырье-11	15,53	6156,96	Дополнительное сырье-11	531,65	27864,13
Дополнительное сырье-12	3,77	8,96	Дополнительное сырье-12	0,59	543,04
			Дополнительное сырье-13	53,10	84669,53
Дополнительное сырье-14	1,31	21,44	Дополнительное сырье-14	0,71	8212,35
			Дополнительное сырье-15	73,84	10718,96
Операция-3			Операция-4		
Основное сырье	Количество		Основное сырье	Количество	
Сырье-1	0,62		Сырье-1	0,62	
Сырье-2	0,38		Сырье-2	0,38	
Сырье-19	2,00		Сырье-19	2,00	
Сырье-4	14,80		Сырье-4	14,80	
Сырье-5	0,23		Сырье-5	0,23	
Дополнительное сырье	В	К	Дополнительное сырье	В	К
Дополнительное сырье-11	451,51	32576,49	Дополнительное сырье-11	346,19	51200,16
Дополнительное сырье-12	-1,54	593,65	Дополнительное сырье-12	-0,70	661,45
Дополнительное сырье-13	53,46	72708,80	Дополнительное сырье-13	105,08	103040,00
Дополнительное сырье-14	2,26	6852,12	Дополнительное сырье-14	0,4756	6007,26
Дополнительное сырье-15	75,38	6805,23	Дополнительное сырье-15	61,36	26490,78
Дополнительное сырье-16	0	12	Дополнительное сырье-16	0	19,6

Операции Операция-2, Операция-3, Операция-4 производят соответственно ресурсы Ресурс-2, Ресурс-3, Ресурс-4. Определим оптимальную загрузку операций (выработку ресурсов), для получения минимальной себестоимости продукции. Для ее определения можно последовательно оптимизировать загрузку каждой операции, в целом снижая себестоимость продукции [4,7].

Рассматриваем 2 варианта: 1) когда операция-2 загружена по минимуму, операция-3 – по максимуму и догружается операция-4; 2) когда операция-2 загружена по минимуму, операция-4 - по максимуму (допустимому) и догружается операция-3. Проведем исследования и выбираем вариант, при котором себестоимость меньше, результаты исследований для выбора оптимального варианта приведены в таблице 4, а результат приведен в таблице 5 и на рисунке 2.

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ МЕЖДУ ОПЕРАЦИЯМИ НЕПРЕРЫВНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

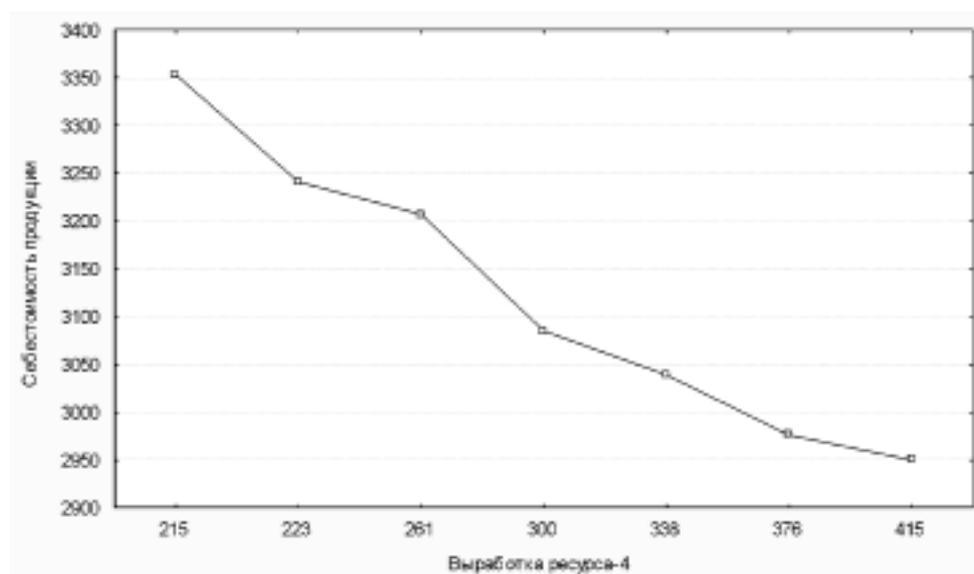


Рис. 2. Зависимость себестоимости продукции от выработки ресурса-4

**Таблица 4. Результаты исследований для выбора оптимального варианта**

Догружается операция –4							
Выработка	185	223	<b>261</b>	<b>300</b>	338	376	415
Себестоимость	3353	3241	<b>3207</b>	<b>3085</b>	3039	2976	2950
Количество	474	501	<b>579</b>	<b>609</b>	626	647	662
Догружается операция –3							
Выработка	<b>100</b>	120	140	160	180	200	220
Себестоимость	<b>3172</b>	3167	3158	3136	3132	3119	3106
Количество	<b>600</b>	629	658	680	697	706	720

**Таблица 5. Оптимальные параметры производственного процесса**

Операция-2	Операция-3	Операция-4	Себестоимость
100	220	280	3147

### 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная система имитационного моделирования является эффективным средством оценки характеристик сложных непрерывных ПрП и определения оптимальных параметров загрузки оборудования. В ходе исследований была оценена погрешность моделирования, определена длина переходного процесса и устойчивость результатов моделирования.

В результате выполненной работы были определены оптимальные параметры загрузки операций -2, -3 и -4 у непрерывного ПрП для получения минимальной себестоимости продукции, при заданной норме выпуска. Полученные результаты позволили сделать заключение о том, что существующее распределение нагрузки между производственными операциями не является оптимальным и перераспределение нагрузки между третьей и четвертой операцией позволяет получить значительный экономический эффект за счет снижения себестоимости продукции.

**Литература**

1. *Захарченков К.В.* К вопросу о выборе корпоративной информационной системы промышленного предприятия. – Вестник МГТУ. - №2(7). -2004. – С.: 39-43.
2. *Якимов А.И.* Программно-технологический комплекс имитации сложных систем BelSim 2003. // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы респ. науч.-техн. конф., 29 января 2004 г. – Могилев: ГУ ВПО «Бел.-Рос. ун-т», 2004. – С. 3-4.
3. *Максимей И.В.* Имитационное моделирование на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. – 232с.: ил.
4. *Файнгольд М.Л., Кузнецов Д.В.* Принципы расчёта производственной мощности и загрузки оборудования. / Под науч. ред. *М.Л. Файнгольда.* - Владимир: Издательство ВГПУ, 2002. – 85 с.
5. *Глинских А.* Мировой рынок ERP-систем. //Jet Info / Информационный бюллетень. - №2(105). – 2002. – 32с.
6. *Якимов А.И., Альховик С.А.* Имитационное моделирование в ERP-системах управления. – Мн.: Бел. наука, 2005. – 197 с.: ил.
7. *Петров Р.В.* Рациональный выбор параметров производственного процесса на основе ПТКИ BELSIM / Науч. рук. *Якимов А.И., Захарченков К.В.* // 42-я студенческая научно-техническая конференция: Материалы конф., 16-20 мая 2006 г. – Могилев: Белорусско-Российский университет, 2006. – С. 128.
8. *Петров Р.В.* Имитационное моделирование дискретного производственного процесса в ПТКИ BELSIM. / Науч. рук. *Якимов А.И., Захарченков К.В.* // 41-я студенческая научно-техническая конференция: Материалы конф., 17-21 мая 2005 г. – Могилёв: Белорусско-Российский университет, 2005. – С. 125-126.
9. *Якимов А.И., Захарченков К.В., Петров Р.В.* Имитационное моделирование сложного дискретного производственного процесса на основе ПТКИ BELSIM. // Известия Гомельского государственного университета имени Ф.Скорины. - №5(32). - 2005. – С. 135-137.

**Петров Роман Владимирович**

Студент электротехнического факультета

ГУ ВПО Белорусско-Российский университет, г. Могилев

E-mail: [question@pochta.ru](mailto:question@pochta.ru)

**Якимов Анатолий Иванович**

Доцент кафедры «Автоматизированные системы управления», канд. техн. наук

ГУ ВПО Белорусско-Российский университет, г. Могилев

Тел.: +375(222) 24-89-10

E-mail: [ykm@tut.by](mailto:ykm@tut.by)

**Захарченков Константин Васильевич**

Ассистент кафедры «Автоматизированные системы управления»

ГУ ВПО Белорусско-Российский университет, г. Могилев

Тел.: +375(222) 42-86-29

E-mail: [baseya@yandex.ru](mailto:baseya@yandex.ru)