

## МОДЕЛИРОВАНИЕ АПС МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПА КОРПУС С ПОМОЩЬЮ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ИМИТАТОРА NETSTAR

М.А. Ёлкин, И.А. Кауркин, студенты гр. МР-101, V курс

Научный руководитель: В.В. Зиновьев, к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

При проектировании АПС возникают задачи выбора оптимального варианта компоновки технологического оборудования. Для такого выбора необходима возможность исследования различных АПС. Проводить такие исследования на реальных объектах очень дорого и не целесообразно. Эффективным методом является математическое моделирование. Аналитические методы не позволяют учитывать динамику и случайные аспекты производства. Поэтому целесообразным является имитационное моделирование, которое позволяет отобразить взаимодействие элементов технологического комплекса во времени и пространстве, проиграть на моделях множество альтернативных технико-организационных вариантов и определить наиболее рациональные из них, оценить влияние отдельных технологических параметров на поведение АПС в целом, выявить узкие места в технологии [1].

Для имитационного моделирования на мировом рынке имеется ряд программных продуктов таких как: Arena, AnyLogic, Extend, GPSS World и др. В Кемеровском научном центре СО РАН разработан проблемно-ориентированный имитатор NETSTAR, он успешно может быть использован для отображения АПС и многовариантного анализа компоновочных решений [2].

NETSTAR основан на математическом аппарате сетей Петри. Сеть Петри это ориентированный двудольный граф с вершинами двух типов – позициями и переходами, соединенными между собой дугами. Динамика сети задается перемещением маркеров (динамических элементов) по позициям сети [3].

Поставлена цель - отобразить динамику работы АПС механической обработки детали типа корпус с помощью проблемно-ориентированного имитатора NETSTAR для исследования основных характеристик производственной системы.

Для реализации поставленной цели определены задачи:

1. Отобразить динамику АПС в виде математического аппарата сетей Петри.
2. Осуществить программную реализацию сети Петри с использованием проблемно-ориентированного имитатора NETSTAR.

3. Проверить правильность построения модели, используя методы верификации и валидации.

4. Исследовать динамику количества готовых деталей и загрузки оборудования.

АПС, отображенная в виде сети Петри при помощи проблемно-ориентированного имитатора NETSTAR, представлена на рис. 1.

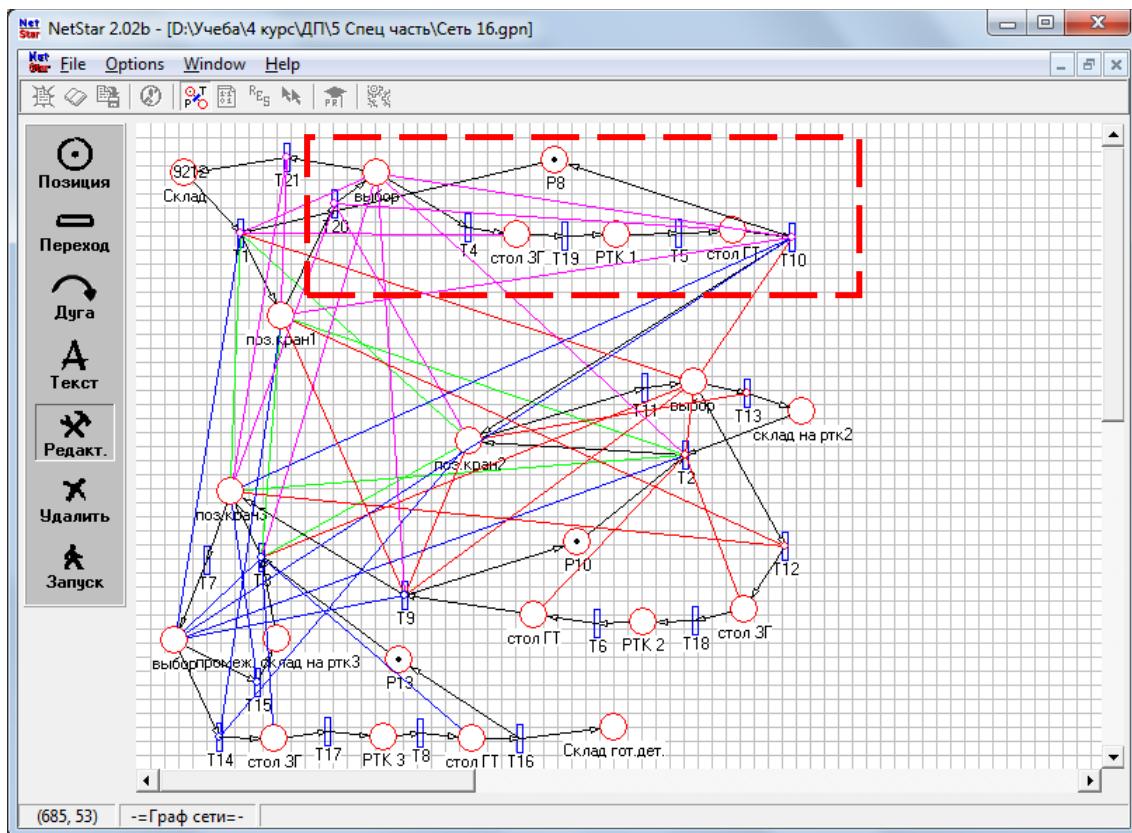


Рис. 1. АПС в виде сети Петри

Модель состоит из трех идентичных блоков, отображающих работу каждого РТК (выделено пунктиром). В исходном состоянии маркеры находятся в позиции «Склад» Р1. Количество маркеров в этой позиции соответствует программе выпуска. Затем маркер попадает в позицию «поз.кран1», предварительно пройдя проверку на занятость крана-штабелера путем проверки позиций «поз.кран2» и «поз.кран3» на наличие в них маркеров. Далее отображается подгон крана-штабелера к столу возле РТК 1 и в позиции «выбор» проверяется, свободен ли стол перед РТК 1. Если стол свободен, то маркер попадает в позицию «РТК 1», отображающую обработку на токарном станке, входящем в РТК 1. После моделирования обработки маркер переходит в позицию «столГТ», отображающую стол с готовыми деталями. Затем маркер перемещается в позицию Р8, что имитирует возврат крана-штабелера в исходное положение.

Проверка модели проводилась следующими методами верификации и валидации [4]:

- построение логической блок-схемы и интерактивный контроль над ходом моделирования при помощи режима отладки;
- сопоставление результатов моделирования с результатами аналитических расчетов.

При реализации первого метода в режиме отладки, встроенного в NETSTAR, производилось сравнение событий, происходящих в сети Петри с блок-схемой, отображающей события в реальной системе.

При использовании второго метода проведены расчеты по определению производительности АПС -  $Q$  и коэффициента загрузки оборудования -  $\eta$  по формулам [5]:

$$Q = \frac{X_{\text{ст}}}{t} = \frac{6}{2,55} = 2,34 \text{ тар/час}$$

где  $X_{\text{ст}}$  – число станков в АПС;

$t$  – штучное время обработки, час.

$$\eta_1 = \frac{C_{p1}}{C_{\text{пр}1}} = \frac{0,85}{1} = 0,85$$

$$\eta_2 = \frac{C_{p2}}{C_{\text{пр}2}} = \frac{0,69}{1} = 0,69$$

$$\eta_3 = \frac{C_{p3}}{C_{\text{пр}3}} = \frac{3,91}{4} = 0,98$$

$$\eta = \frac{(\eta_1 + \eta_2 + \eta_3)}{X_{\text{РТК}}} = \frac{0,85 + 0,69 + 0,98}{3} = 0,84$$

где  $\eta_1$ ,  $\eta_2$ ,  $\eta_3$  – коэффициенты загрузки токарного, шлифовального и фрезерного станков соответственно.

$C_{p1}$ ,  $C_{p2}$ ,  $C_{p3}$  – расчетное количество станков

$C_{\text{пр}1}$ ,  $C_{\text{пр}2}$ ,  $C_{\text{пр}3}$  – принятое количество станков.

Определив путем расчетов, производительность АПС и коэффициенты загрузки оборудования, определяем эти же параметры путем проведения имитационных экспериментов на модели. Результаты моделирования берем из матрицы текущей разметки в NETSTAR.

Производительность АПС

$$Q = \frac{n}{t_m} = \frac{9212}{4239,53} = 2,17 \text{ тар/час}$$

где:  $n$  – количество маркеров в позиции «Склад готовых деталей»;

$t_m$  – время моделирования.

Коэффициент загрузки оборудования

$$\eta_m = \frac{(\eta_{1m} + \eta_{2m} + \eta_{3m})}{X_{\text{РТК}}} = \frac{0,92 + 0,63 + 0,99}{3} = 0,85$$

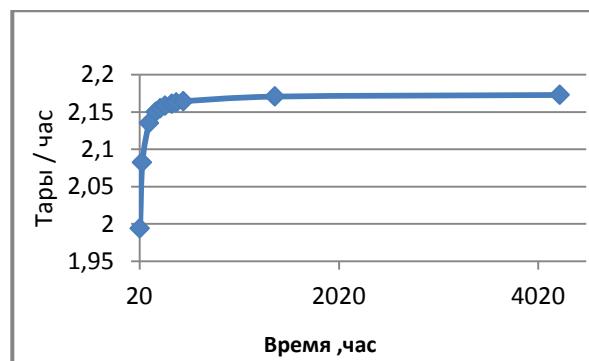
где  $X_{\text{РТК}}$  – количество блоков, отображающих РТК;

$\eta_{1M}$ ,  $\eta_{2M}$ ,  $\eta_{3M}$  – загруженность позиций РТК 1, РТК 2, РТК 3 соответственно.

Проверка позволила повысить степень доверия к правильности модели, т.к. не обнаружено расхождений событий модели с событиями, происходящими в реальной системе. Также производительность, рассчитанная аналитически, составила 2,34 тар/час, а по результатам имитационных экспериментов 2,17 тар/час. При этом расчетный коэффициент загрузки оборудования - 0,84, а полученный на модели - 0,85. Таким образом, отклонение результатов имитационных экспериментов от расчетных значений не превысило 3,4%.

В результате проведения имитационных экспериментов на модели установлено, что (рис. 2 - 5):

- производительность АПС составляет 2,17 тар/час;
- среднее значение коэффициента загрузки оборудования АПС - 85%;
- наибольшее влияние на производительность АПС и среднюю загрузку оборудования оказывает время обработки на РТК 3.



времени обработки со 100 до 70 мин уменьшает среднюю загрузку оборудования АПС на 11%.

Также установлено, что при уменьшении времени обработки на РТК 3 с 120 до 100 мин производительность АПС возрастает на 6,5%. Дальнейшее уменьшение времени обработки на РТК 3 не влияет на производительность АПС (рис. 4).

Предложено изменить значение времени обработки на РТК 3 со 110,4 мин на 100,4 мин и проверить на модели, как повлияет это изменение на производительность АПС (рис. 6).

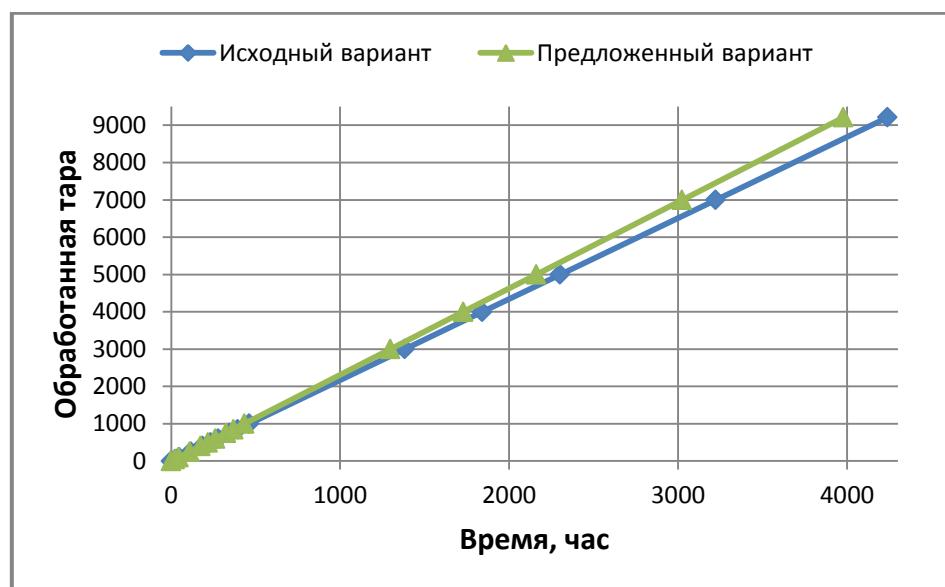


Рис. 6. Динамика годовой программы выпуска деталей

В результате эксперимента установлено, что:

- производительность АПС повысилась в среднем на 6,5%;
- время изготовления годовой программы выпуска деталей уменьшилось на 261 час.

### Список литературы

- 1) Зиновьев, В.В. Комплекс программ для поддержки принятия решений по выбору варианта автоматизированного производства / В.В. Зиновьев, А.Н. Стародубов // Вестник КузГТУ. - 2009. - № 3. - С. 135-140.
- 2) Конюх, В.Л. Имитатор NETSTAR / В.Л. Конюх, Михайлишин А.Ю., В.В. Зиновьев, А.Н. Стародубов / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010617178 от 27.10.2010 г.
- 3) Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
- 4) Полетаев, В.А. Проектирование компьютерно-интегрированных производственных систем / В.А. Полетаев, В.В. Зиновьев, А.Н. Стародубов, И.В. Чичерин. – М: Машиностроение, 2011. - 324 с.

VII Всероссийская научно-практическая конференция  
молодых ученых с международным участием  
«Россия молодая»

5) Трухин, В.В. Проектирование гибких производственных систем.  
Уч. пособие – КузГТУ. – 2010.