

УДК 658.511

# ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ ПВО СВ В ВОЙСКОВЫХ УСЛОВИЯХ ПРИ ПОМОЩИ АППАРАТА СЕТЕЙ ПЕТРИ

## CONSTRUCTION OF ARMY AIR DEFENSE WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT MAINTENANCE PRODUCTION PROCESS MATHEMATICAL MODEL USING THE PETRI NETS

**Дьячков Максим Евгеньевич,**  
аспирант АНО дополнительного профессионального  
образования «Научно-образовательный центр ВКО  
«Алмаз – Антей», город Москва

**Dyachkov M.E.**  
Independent non-profit organization of further  
vocational education «Science and education center  
of aerospace defense «ALMAZ – ANTEY»

**Шевченко Роман Викторович,**  
заместитель главного инженера АО «Рязанское  
производственно-техническое предприятие «Гранит»,  
кандидат технических наук, город Рязань

**Shevchenko R.V.**  
Candidate of technical sciences, deputy chief engineer  
of Joint-stock company “Ryazan production  
and technological enterprise “Granit”, Ryazan

**АННОТАЦИЯ.** В статье рассматривается производственный процесс сервисного обслуживания вооружения и военной техники ПВО СВ в войсковых условиях, описываются его основные стадии и операции. На основе полученного описания осуществляется построение сети Петри вышеуказанного процесса, приводится решение задачи нахождения минимальной длительности производственного цикла в данной сети. Также на основании полученной математической модели производственного процесса выявляются основные проблемы, препятствующие его ритмичному функционированию, и приводятся пути их решения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** оперативно-производственное планирование, сервисное обслуживание, вооружение и военная техника, ПВО СВ, производственный процесс, сеть Петри, производственный цикл, задача оптимизации.

**ABSTRACT.** This paper deals with army air defense weapons and military equipment maintenance production process and its main stages and operations. With the help of production process description the Petri net is constructed and the problem of production cycle minimizing is solved in this article. Also, the main problems that make difficult the rhythmic functioning of production process are identified and the ways of solving them are given with the help of constructed mathematical model.

**KEYWORDS:** scheduling, maintenance, weapons and military equipment, Army air defense, production process, Petri net, production cycle, optimization problem.

**Сервисное обслуживание вооружения и военной техники (ВВТ) ПВО СВ является неотъемлемой частью жизненного цикла каждого образца ВВТ на этапе его эксплуатации и признано эффективным инструментом в поддержании боеготовности Вооружённых сил Российской Федерации.**

**Н**а основании заключённого с МО РФ государственного контракта и плана-графика работ на календарный год предприятие-исполнитель гособоронзаказа направляет в воинскую часть бригаду специалистов для осуществления сервисного обслуживания образцов ВВТ, обозначенных в плане-графике или в уведомлении заказчика. В общем случае производственный процесс сер-

висного обслуживания ВВТ ПВО СВ представлен на рис. 1.

«Входами» данного процесса являются контракт, план-график или оперативное уведомление, полученные от заказчика, а «выходами» – отремонтированные изделия ВВТ и документы об оплате выполненных работ. Применяя процессный подход, можно каждую стадию декомпозировать на подпроцессы

до элементарных операций и таким образом составить алгоритм действий при проведении сервисного обслуживания.

С целью выявления основных проблем функционирования производственного процесса строят его модель, используя какой-либо математический аппарат или применяя средства имитационного моделирования. В нашем случае наиболее подходящим методом



Рис. 1. Производственный процесс сервисного обслуживания ВВТ ПВО СВ в войсковых условиях [1]

создания модели является дискретно-событийное моделирование на основе сети Петри, построение которой помогает не только наглядно смоделировать процесс, но и продемонстрировать все проблемные и конфликтные ситуации.

### ПОСТРОЕНИЕ СЕТИ ПЕТРИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВВТ ПВО СВ В ВОЙСКОВЫХ УСЛОВИЯХ

Рассмотрев детально каждую стадию производственного процесса, применяя

процессный подход и инструменты декомпозиции, можно построить блок-схему алгоритма проведения сервисного обслуживания (рис. 2).

Построенная блок-схема алгоритма выполнения производственного процесса сервисного обслуживания ВВТ ПВО СВ также является моделью, позволяющей визуализировать и конкретизировать все основные стадии и действия, происходящие при проведении работ. Однако для более точного представления процесса дискретной природы, его исследо-

вания и постановки задачи оптимизации необходимо построить математическую модель исследуемого процесса. С этой целью построим сеть Петри (рис. 3), основываясь на созданной ранее блок-схеме алгоритма, придавая каждой позиции и переходу свою смысловую нагрузку (таблица 1) [3].

Представление исследуемого производственного процесса в виде сети Петри позволяет наглядно отобразить все его стадии, обнаружить проблемы функционирования и принять решение по спо-

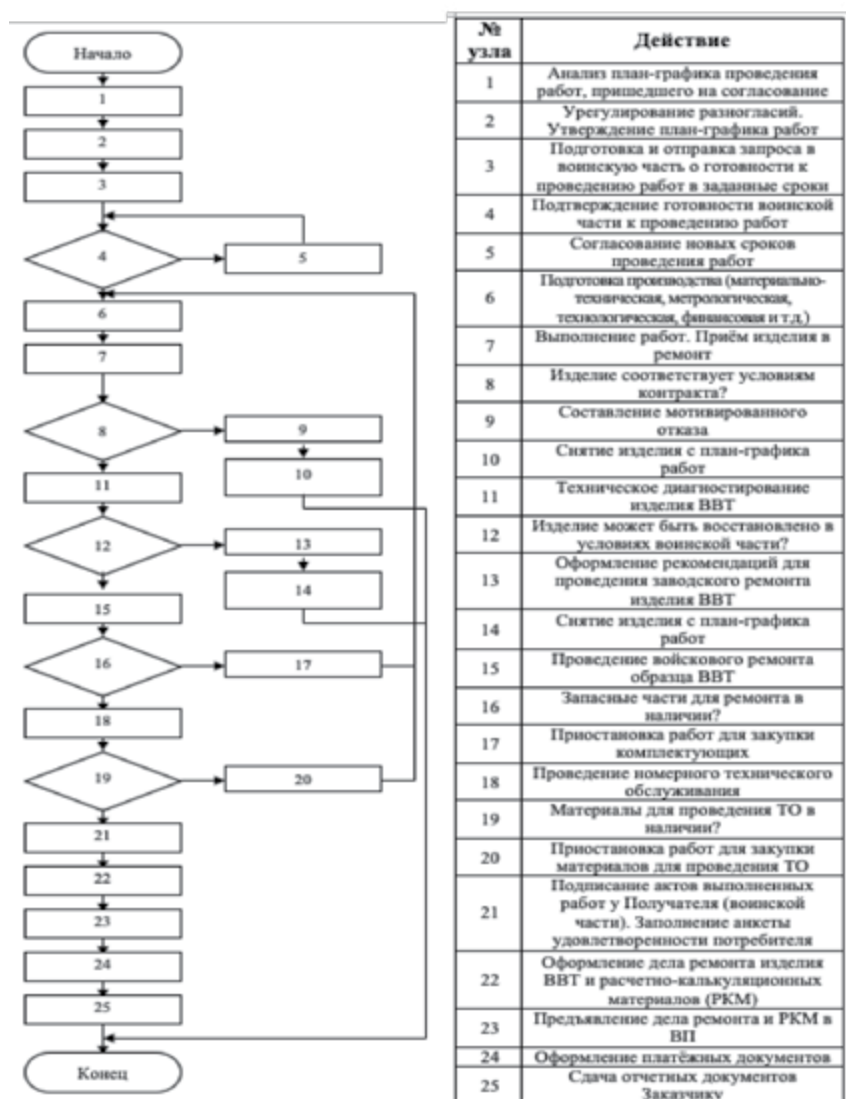


Рис. 2. Блок-схема алгоритма проведения сервисного обслуживания ВВТ ПВО СВ в войсковых условиях

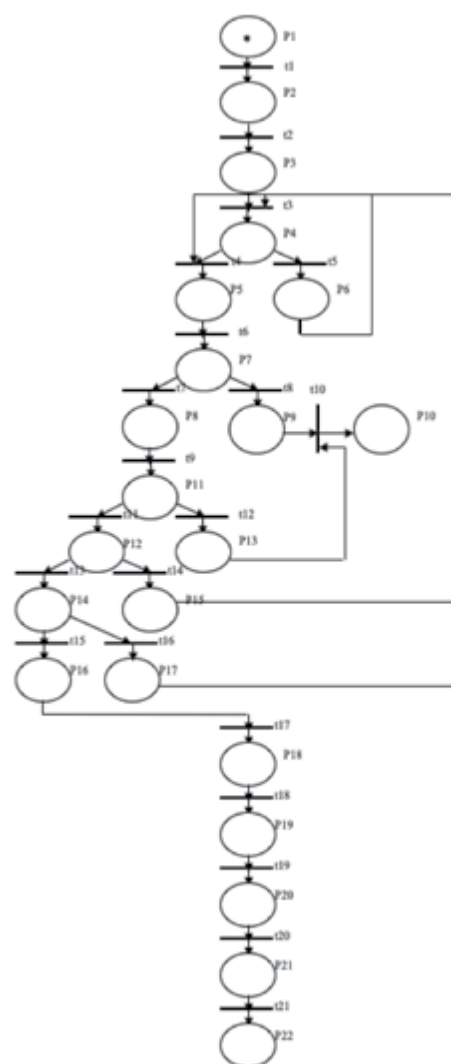


Рис. 3. Сеть Петри производственного процесса сервисного обслуживания ВВТ ПВО СВ в войсковых условиях

Таблица 1.

№ п/п	Индекс позиции/ перехода	Позиция/переход	Предшествующая позиция/ переход	Последующая позиция/ переход
1	P1	План-график работ, поступивший на согласование	-	t1
2	t1	Анализ плана-графика, поступившего на согласование	P1	P2
3	P2	Протокол разногласий	t1	t2
4	t2	Урегулирование разногласий, утверждение плана-графика работ	P2	P3
5	P3	Утверждённый план-график работ	t2	t3
6	t3	Отправка запроса о готовности воинской части к проведению работ в заданные сроки	P3, P6	P4
7	P4	Ответ воинской части о готовности к проведению работ	t3	t4, t5
8	t4	Осуществление подготовки производства (материально-технической, метрологической, финансовой, организационной и т.д.)	P4, P15, P17	P5
9	t5	Согласование новых сроков проведения работ с воинской частью в случае её неготовности к проведению работ и отправка запроса на корректировку плана-графика заказчику	P4	P6
10	P5	Документы, необходимые для отправки выездной бригады (командировочные удостоверения, техническое задание и т.д.)	t4	t6
11	P6	Новые сроки проведения работ, согласованные с заказчиком	t5	t3
12	t6	Осуществление приёма изделия ВВТ для проведения сервисного обслуживания в воинской части	P5	P7
13	P7	Ведомость приёма в ремонт	t6	t7, t8
14	t7	Оформление акта приёма-передачи изделия ВВТ на сервисное обслуживание	P7	P8
15	t8	Оформление мотивированного отказа в приёме изделия в ремонт, в случае если оно не соответствует требованиям контракта	P7	P9
16	P8	Акт приёма-передачи изделия ВВТ на сервисное обслуживание	t7	t9
17	P9	Мотивированный отказ в приёме изделия на сервисное обслуживание	t8	t10
18	t9	Проведение технического диагностирования изделия ВВТ	P8	P11
19	t10	Оформление запроса о снятии изделия ВВТ с плана-графика проведения работ	P9, P13	P10
20	P10	Подтверждение снятия изделия ВВТ с план-графика выполнения работ	t10	-
21	P11	Дефектационная ведомость на диагностируемое изделие ВВТ	t9	t11, t12
22	t11	Проведение войскового ремонта (в случае возможности его проведения)	P11	P12
23	t12	Оформление рекомендаций на проведение ремонта изделия ВВТ в заводских условиях (в случае невозможности проведения войскового ремонта)	P11	P13
24	P12	Перечень неисправностей на изделие ВВТ	t11	t13
25	P13	Оформленные рекомендации на проведение заводского ремонта изделия ВВТ	t12	t10
26	t13	Оформление акта о восстановлении изделия ВВТ	P12	P14
27	t14	Оформление акта о приостановке работ ввиду необходимости закупки комплектующих для ремонта	P12	P15
28	P14	Утверждённый командиром воинской части акт о восстановлении изделия ВВТ	t13	t15, t16
29	P15	Акт о приостановке работ ввиду необходимости закупки комплектующих для ремонта	t14	t4
30	t15	Проведение номерного технического обслуживания на исправном изделии ВВТ	P14	P16
31	t16	Оформление акта о приостановке работ ввиду необходимости закупки материалов для технического обслуживания	P14	P17
32	P16	Утверждённый командиром воинской части акт о проведении сервисного обслуживания изделия ВВТ	t15	t17
33	P17	Акт о приостановке работ ввиду необходимости закупки материалов для технического обслуживания	t16	t4
34	t17	Утверждение акта сдачи-приёмки выполненных работ, заполнение анкеты удовлетворённости потребителя	P16	P18

35	P18	Утверждённые командиром воинской части акт сдачи-приёмки выполненных работ и анкета удовлетворённости потребителя	t17	t18
36	t18	Оформление дела ремонта изделия ВВТ и расчётно-калькуляционных материалов (РКМ)	P18	P19
37	P19	Оформленное согласно требованиям контракта дело ремонта и РКМ	t18	t19
38	t19	Предъявление дела ремонта и РКМ в ВП	P19	P20
39	P20	Утверждённое ВП МО РФ удостоверение и заключение на выполненные работы	t19	t20
40	t20	Оформление платёжных документов на выполненные работы	P20	P21
41	P21	Оформленные платёжные документы на выполненные работы	t20	t21
42	t21	Сдача документов заказчику на оплату	P21	P22
43	P22	Принятые заказчиком документы на выполненные работы	t21	-

собам их разрешения. Из построенной сети можно увидеть, что в результате выполнения некоторых переходов возникает конфликт в сети и выполняется возврат на ранее выполненные позиции или же сеть заходит в тупик [2]. Такое положение дел приводит к увеличению производственного цикла выполнения работ, увеличению уровня издержек и нарушению ритмичности и непрерывности производственного процесса. В конечном итоге это приведёт к снижению уровня удовлетворённости потребителя и к падению показателей качества выполняемых работ.

#### ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ В ПОСТРОЕННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Рассматривая полученную сеть Петри, можно выявить основные проблемы, препятствующие ритмичному и непрерывному функционированию производственного процесса:

1) Неготовность воинской части к приёму специалистов комплексной бригады. При этом происходит согласование новых сроков выполнения работ.

2) Принимаемое на сервисное обслуживание изделие не соответствует требованиям государственного контракта (некомплектно, имеет аварийные повреждения и т.д.). В данном случае изделие снимается с задания, бригаду специалистов отзывают с места проведения работ.

3) Принимаемое на сервисное обслуживание изделие не может быть восстановлено в условиях воинской части и требует заводского ремонта. Данная ситуация также приводит к отзыву бригады из воинской части.

4) Отсутствие необходимых запасных частей и материалов для проведения работ. При возникновении данной ситуации работы на изделии приостанавливаются на срок закупки необходимого имущества, бригада специалистов отзывается из воинской части.

Используя построенную математическую модель производственного про-

цесса, можно описать постановку задачи оптимизации:

$$Q(x) = \min_{x \in X} Q(x) \text{ или } Q(x) = \max_{x \in X} Q(x),$$

где  $Q(x)$  – целевая функция [4].

Так как сервисное обслуживание ВВТ ПВО СВ относится к единичному типу производства, основной планово-учётной единицей его является длительность производственного цикла проведения работ. Таким образом, задача оптимизации сводится к минимизации длительности производственного цикла:

$$T_{np}(x) = \min T_{np}(x), \text{ где } x \in X.$$

Рассмотрев полученную сеть Петри, приходим к выводу, что минимальная длительность производственного цикла будет соответствовать минимальному количеству тактов моделирования:  $T_{np} = k \rightarrow \min$ , где  $k$  – количество тактов моделирования от начального до конечного состояния сети Петри. Параметр  $k$  можно определить, задав последовательность переходов сети Петри  $\rightarrow T^*$ , где  $T^*$  – множество всех подмножеств переходов.

Таким образом, в общем виде задача оптимизации формально можно представить следующим образом:

$$\begin{cases} T_{np}(\sigma) = \min T_{np}(\sigma), \sigma \in T^* \\ \sigma = (t_1, \dots, t_j), j \in B \end{cases}$$

где  $B$  – вектор параметров ограничений, задаваемых в данной задаче.

Для успешного выполнения сети Петри нашего исследуемого процесса необходимо задать следующую последовательность переходов:

$$\sigma = (t_1, t_2, t_3, t_4, t_6, t_7, t_9, t_{11}, t_{13}, t_{15}, t_{17}, t_{18}, t_{19}, t_{20}, t_{21})$$

Для нашей сети Петри задача оптимизации примет следующий вид:

$$\begin{cases} T_{np}(\sigma) = \min T_{np}(\sigma), \sigma \in T^* \\ \sigma = (t_1, \dots, t_j), j \in B \\ B = \{1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 18, 19, 20, 21\} \end{cases}$$

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании построенной сети Петри выявлены основные проблемы, мешаю-

щие ритмичному функционированию производственного процесса, построенная задача оптимизации. Для устранения возникающих проблемных вопросов необходимо принятие управленческих решений, основывающихся на инструментах оперативно-производственного планирования. С целью недопущения конфликтных ситуаций в построенной сети Петри необходимо применять инструменты мониторинга технического состояния, методику формирования и управления производственным запасом. Данные инструменты должны быть включены в общий методический аппарат оперативно-производственного планирования производственного процесса сервисного обслуживания ВВТ ПВО СВ и применяться отделами планирования предприятия при построении календарных планов-графиков выполняемых работ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьячков М.Е., Кобелев П.А., Шевченко Р.В. Оперативно-производственное планирование производственного процесса сервисного обслуживания вооружения и военной техники ПВО // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России: межотраслевой научно-технический журнал. – 2020, № 2. – С. 46–50.
2. Дьячков М.Е., Кобелев П.А., Шевченко Р.В. Моделирование производственного процесса при помощи математического аппарата сетей Петри // Технические науки: проблемы и решения. Сб. ст. по материалам XLVI–XLVII междунар. науч.-практ. конф. – № 3–4 (43). – М., Изд. «Интернаука», 2021. – С. 52–56.
3. Теоретическая информатика. Теория сетей Петри и моделирование систем: учебное пособие / Е.Л. Веретельникова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 82 с.
4. Сочнев А.Н. Постановка задачи оптимизации в терминологии сетей Петри // Вестник кибернетики. – 2020, № 1 (37). – С. 85–90.