

**В.Н. Костин, Л.П. Волкова****РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПЛАНИРОВЩИКА  
ДЛЯ САПР СТРУГОВЫХ УСТАНОВОК**

*Рассмотрен вопрос разработки интеллектуального планировщика. Планировщик позволяет автоматизировать процесс проектирования алгоритма расчета струговой установки по заданным входным и описанию выходных параметров. При реализации алгоритма используется аппарат сетей Петри.*

*Ключевые слова: автоматизированная, система, проектирование, струговая, установка, интеллектуальный, планировщик, алгоритм, последовательность, проект, сценарий, граф, достижимость, сеть Петри.*

**П**роцесс проектирования струговых установок (СУ) в системе автоматизированного проектирования (САПР) представляет собой последовательное применение прикладных модулей для решения задачи проектирования. Данная последовательность определяется как входными данными, так и конечным результатом проектирования.

В работе [1] высказана идея разработки модуля Интеллектуального планировщика для САПР СУ, который может построить алгоритм работы прикладных модулей при задании исходных и описании выходных параметров. Было показано, что модель Планировщика можно представить в виде модельного графа, который, в свою очередь, можно представить соответствующей сетью Петри. В данной работе рассмотрим более подробно реализацию Планировщика для набора прикладных модулей СУ, описанных в работах [2, 3] и дополнительного модуля 9, реализующего расчет динамических режимов.

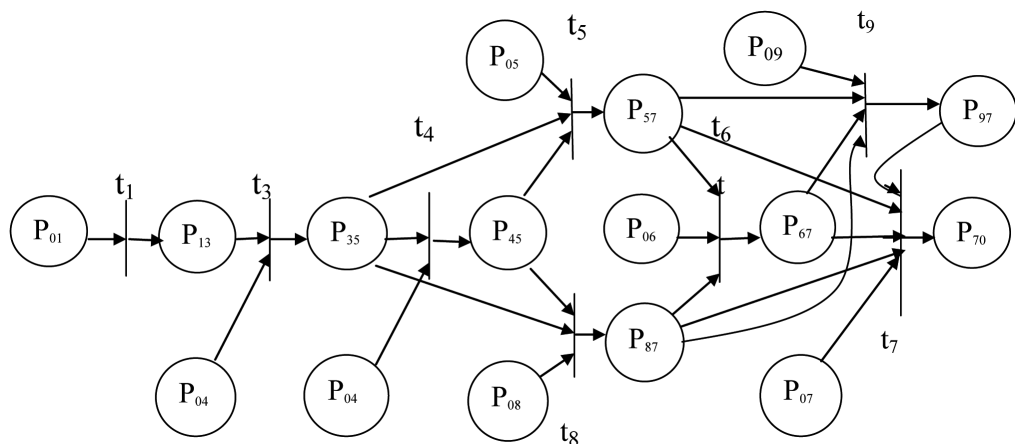
Последовательность модулей для реализации какого-либо проекта обычно называют «сценарием». Под «сценарием САПР» понимают объединение всех возможных сценариев проектов, которые можно выполнить с помощью данной САПР. При этом сценарий САПР можно представить в виде модельного графа

$$G = \bigcup_{i=1}^L G_i \quad (1),$$

где  $L$  – количество возможных сценариев проектов, а  $G_i$  – двудольный граф  $G = \langle V, U \rangle$ ,

где  $V = V_1 \cup V_2$  и  $V_1 \cap V_2 = \emptyset$ , содержащий вершины, соответствующие множеству модулей  $V_1 = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in}\}$ , и множеству моделей  $V_2 = \{v_{j1}, v_{j2}, \dots, v_{jk}\}$ , определяющий один из проектов САПР. Причем вершина  $v_i \in V_1$  соединяется дугой  $(v_i, v_j)$  с вершиной  $v_j \in V_2$ , если модуль  $v_i$  в качестве выходной имеет модель, соответствующую вершине  $v_j$ , и вершина  $v_l \in V_2$  соединяется дугой  $(v_l, v_m)$  с вершиной  $v_m \in V_1$ , если модуль  $v_m$  в качестве входной имеет модель, соответствующую вершине  $v_l$ .

Каждому такому двудольному графу можно поставить в соответствие следующую сеть Петри  $S = \langle P, T, I, O \rangle$ , где  $P = V_2 = \{v_{j1}, v_{j2}, \dots, v_{jk}\}$ , т.е. каждой позиции соответствует модель, и  $T = V_1 = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in}\}$ , т.е. каждому переходу соответствует модуль. Сценарию системы, представленному модельным графом (1), можно также поставить в соответствие сеть Петри  $S = \langle P, T, I, O \rangle$ , где



**Рис. 1. Сеть Петри для системы САПР СУ,  $C = (P, T, I, O)$**

$$G = \bigcup_{i=1}^L G_i, \quad T = \bigcup_{i=1}^L T_i, \quad I = \bigcup_{i=1}^L I_i, \quad O = \bigcup_{i=1}^L O_i,$$

На рис. 1 представлена сеть Петри для системы САПР СУ,  $C = (P, T, I, O)$ , где

$P = \{p_{01}, p_{13}, p_{03}, p_{35}, p_{04}, p_{45}, p_{05}, p_{08}, p_{57}, p_{06}, p_{87}, p_{67}, p_{07}, p_{09}, p_{97}, p_{70}\};$

$T = \{t_1, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9\};$

$I(t_1) = \{p_{01}\};$

$O(t_1) = \{p_{13}\};$

$I(t_3) = \{p_{13}, p_{03}\};$

$O(t_3) = \{p_{35}\};$

$I(t_4) = \{p_{35}, p_{04}\};$

$O(t_4) = \{p_{45}\};$

$I(t_5) = \{p_{05}, p_{35}, p_{45}\};$

$O(t_5) = \{p_{57}\};$

$I(t_6) = \{p_{06}, p_{57}, p_{87}\};$

$O(t_6) = \{p_{67}\};$

$I(t_7) = \{p_{07}, p_{57}, p_{67}, p_{87}, p_{97}\};$

$O(t_7) = \{p_{70}\};$

$I(t_8) = \{p_{08}, p_{35}, p_{45}\};$

$O(t_8) = \{p_{87}\};$

$I(t_9) = \{p_{09}, p_{57}, p_{67}, p_{87}\};$

$O(t_9) = \{p_{97}\}.$

Причем под переходами понимаются следующие прикладные модули:

$t_1$ - модуль, определяющий максимальную толщину стружки;

$t_3$ - модуль, определяющий усилия на резцах струга;

$t_4$ - модуль, определяющий параметры грузчика;

$t_5$ - модуль, определяющий усилия в цепи СУ отрывного действия;

$t_6$ - модуль, определяющий мощности электродвигателей;

$t_7$ - модуль, определяющий производительность СУ;

$t_8$ - модуль, определяющий усилия в цепи СУ с наклонной направляющей;

$t_9$ - динамическая подсистема.

Модуль 9 – динамическая подсистема включен в САПР СУ для проверки разработанных конструкций в динамических режимах работы. Поскольку экспериментальная проверка разрабатываемых конструкций нереальна в связи с их большой стоимостью, то большое значение приобретает возможность проверить динамические свойства новых конструкций на цифровой модели. Поэтому все разработанные конструкции на заключительном этапе должны прохо-

дить динамические испытания на цифровой модели, реализованной в рамках динамической подсистемы САПР струговых установок.

При исследовании динамики электромеханической системы струговых установок прибегают к некоторой идеализации, принимая следующие допущения [5]. Таким образом, в динамическом режиме в качестве модели электромеханической системы струговых установок, может рассматриваться система дифференциальных уравнений 2-го порядка, для решений которой при разработке цифровой модели для САПР струговых установок был выбран метод Рунге-Кутты 4-го порядка. Созданная таким образом математическая модель легла в основу цифровой модели для динамических испытаний проектных образцов струговых установок, разрабатываемых в рамках САПР СУ.

При построении сети Петри для САПР СУ были приняты следующие допущения.

1. У каждого перехода одна выходная позиция. Это допущение вытекает из свойства модуля – каждый модуль может выполнять только одну функцию с определенным набором параметров, ее характеризующую.

2. Обозначения индексов переходов, моделирующих модули, для лучшего понимания алгоритма соответствуют обозначениям соответствующих модулей.

3. Номера позиций, моделирующих модели данных, состоят из двух цифр. Первая цифра индекса позиции представляет номер перехода, для которого она является выходной, вторая цифра представляет номер перехода, для которого она является входной. Первая цифра - ноль показывает, что позиция должна иметь начальную маркировку, а ноль во второй цифре показывает, что это конечная позиция.

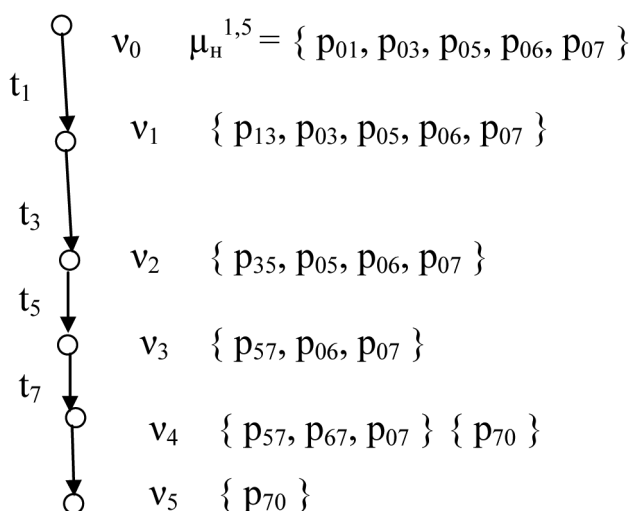
В соответствии с сетью Петри САПР СУ процесс проектирования можно представить выполнением сети Петри системы. При этом начальная маркировка определяется множеством входных моделей, которые заданы для выполнения какого-либо проекта. Процесс проектирования заканчивается при наличии хотя бы одной «фишки» в позициях, которые соответствуют выходным моделям проекта (понятие «фишка» используется для маркировки сети Петри). Тогда задачу интеллектуального планировщика САПР СУ можно решить выполнением сети Петри системы.

В работе рассмотрен упрощенный планировщик для 8 основных проектов, характерных тем, что все они начинаются с использования первого модуля и оканчиваются с использованием седьмого модуля. Исходя из этого, ниже рассмотрено множество начальных маркировок для 8 принятых проектов:

$$\begin{aligned} \mu_n^1 &= \{p_{01}, p_{03}, p_{05}, p_{07}\}; & \mu_n^5 &= \{p_{01}, p_{03}, p_{05}, p_{06}, p_{07}\}; \\ \mu_n^2 &= \{p_{01}, p_{03}, p_{08}, p_{07}\}; & \mu_n^6 &= \{p_{01}, p_{03}, p_{04}, p_{05}, p_{06}, p_{07}\}; \\ \mu_n^3 &= \{p_{01}, p_{03}, p_{04}, p_{05}, p_{07}\}; & \mu_n^7 &= \{p_{01}, p_{03}, p_{08}, p_{06}, p_{07}\}; \\ \mu_n^4 &= \{p_{07}, p_{57}, p_{67}, p_{87}\}; & \mu_n^8 &= \{p_{01}, p_{03}, p_{04}, p_{08}, p_{06}, p_{07}\}. \end{aligned}$$

Задача проектировщика решается методом с использованием понятия сокращенного графа достижимости [4]. В качестве примера на рис. 2 представлен сокращенный граф достижимости, соответствующий первому и пятому проектам.

Для решения общей задачи САПР СУ строится объединенный сокращенный граф достижимости, который будет являться основой разработки алгоритма планировщика.



**Рис. 2. Сокращенный граф достижимости для первого и пятого проектов**

Для того, чтобы по множеству входных моделей  $\{p_{i1}, p_{i2}, \dots p_{in}\}$  и выходных моделей  $\{p_{j1}, p_{j2}, \dots p_{jm}\}$  определить возможность реализации какого-либо проекта, необходимо в сокращенном графе достижимости системы найти две вершины  $v_1$  с весом  $\mu_1$  и  $v_2$  с весом  $\mu_2$ , для которых существует путь от вершины  $v_1$  к вершине  $v_2$  и

$$\mu_1 \setminus (\mu_2 \cap \mu_1) \subset \{p_{i1}, p_{i2}, \dots p_{in}\};$$

$$\mu_2 \subset \{p_{j1}, p_{j2}, \dots p_{jm}\}.$$

В данном случае мы рассмотрели усеченный вариант проектов, для которых первым модулем всегда является модуль, определенный переходом  $t_1$ , и последний, определяемый  $t_7$ . Задача планировщика определить алгоритмы расчета для этих 8 проектов.

В данной работе рассмотрен алгоритм поиска пути между входными и выходными моделями, осуществляемый снизу вверх, т.е. модули определяются по выходным моделям. Начало поиска осуществляется с выходной модели седьмого модуля САПР СУ. Необходимо отметить, что в случае проектирования струговых установок количество параметров, участвующих в модулях, достаточно велико (несколько десятков). Для упрощения работы Планировщика каждая модель содержит только определяющие параметры, т.е. параметры, которые однозначно присущи только тому или иному объекту струговой установки (стругу, грузчику, цепи и т.д.).

В процессе работы Планировщик генерирует обратную последовательность имен модулей, требуемых для выполнения заданного проекта. При этом последовательность записывается в структуру хранения, называемую стеком, выборка из которого позволяет получить требуемый алгоритм.

Таким образом, разработка Интеллектуального планировщика и включение его в САПР СУ позволит существенно упростить работу конструктора струговых установок.

1. Волкова Л.П., Костин В.Н. О развитии САПР струговых установок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 10. – С. 352–354.
2. Волкова Л.П., Костин В.Н., Медноногов А.И., Панкрушин П.Ю. Автоматизированное проектирование струговых установок // Информационная математика. – 2009. – № 17.
3. Волкова Л.П., Костин В.Н., Разумов М.В. Разработка САПР струговых установок // Информационная математика. – 2005. – № 1(5).
4. Горбатов В.А., Крылов А.В., Федоров Н.В. САПР систем логического управления – М.: Энергоатомиздат, 1988.
5. Волкова Л.П. Моделирование динамики струговых установок при автоматизированном проектировании // Информационная математика. – 2009. – № 1(7). **ГИАБ**

---

**КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

---

*Костин Виталий Николаевич* – кандидат технических наук, доцент,  
e-mail: iitem1@yandex.ru,  
*Волкова Людмила Петровна* – кандидат технических наук, доцент,  
e-mail: Volkova\_LP@mail.ru,  
МГИ НИТУ «МИСиС».

---

UDC 622.3.338.3

---

**ELABORATION OF THE INTELLECTUAL PROGRAM FOR APLANE MACHINE SAPR**

*Kostin V.N.*, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,  
e-mail: iitem1@yandex.ru,  
*Volkova L.P.*, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,  
e-mail: Volkova\_LP@mail.ru,  
Moscow Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS».

---

*The paper deals with the elaboration of intellectual scheduler.*

*The intellectual scheduler allows you to automate the process of constructing the algorithm for calculation aplane machine on given input and output description parameters. The Petry nets device are used for this task decision.*

*Key words: elaboration, automation, system, projection, intellectual, scheduler, plane, machine, project, scenario, count, define, use, Petry net, achievement, decide.*

---

**REFERENCES**

1. Volkova L.P., Kostin V.N. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, 2011, no 10, pp. 352–354.
2. Volkova L.P., Kostin V.N., Mednionogov A.I., Pankrushin P.Yu. *Informatsionnaya matematika*, 2009, no 17.
3. Volkova L.P., Kostin V.N., Razumov M.V. *Informatsionnaya matematika*, 2005, no 1(5).
4. Gorbatov V.A., Krylov A.V., Fedorov N.V. *SAPR sistem logicheskogo upravleniya* (CAD for logical control systems), Moscow, Energoatomizdat, 1988.
5. Volkova L.P. *Informatsionnaya matematika*, 2009, no 1(7).

