

## Разработка логических систем управления технологическими процессами лесопиления пиломатериалов

И.В. Елисеев<sup>a</sup>, Б.М. Шифрин<sup>b</sup>, В.А. Соколова<sup>c</sup>

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, пер. Институтский 5, Санкт-Петербург, Россия

<sup>a</sup>yeliseyef@yandex.ru, <sup>b</sup>shifrinb@mail.ru, <sup>c</sup>sokolova\_vika@inbox.ru

<sup>a</sup><https://orcid.org/0000-0002-1179-0146>, <sup>b</sup><https://orcid.org/0000-0001-5377-741X>,

<sup>c</sup><https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>

Статья поступила 19.10.2018, принята 10.11.2018

*В статье изложен подход к разработке логических систем управления в рамках технологического процесса лесопиления. При создании различных систем управления обычно используются и различные технологии алгоритмизации и программирования. Вследствие этого задаваемые на этапе проектирования алгоритмы логического управления могут быть противоречивыми и неполными, что вносит дополнительные трудности в процесс алгоритмизации и программирования управляющих устройств. В данной статье в качестве подхода, позволяющего минимизировать подобные трудности, предлагается использовать так называемую SWITCH-технологию и соответствующую область программирования — автоматное программирование. Эту технологию, прекрасно зарекомендовавшую себя для управления различными объектами, предполагается внедрить для разработки моделей типизированного технологического процесса малого лесопиления. Актуальность малых лесопильных предприятий обусловлена тем, что на современном этапе лесопиление в России переживает отнюдь не лучшие времена. Состояние крупных лесопильных центров далеко от былого процветания, когда выпуск обрезных пиломатериалов исчислялся от сотен тысяч до миллиона кубометров для каждого отдельного предприятия. Морально и материально устарело оборудование. На экспорт поступает более половины производимых пиломатериалов, причем более высокой сортности, нежели потребляемых внутри страны. Крупные предприятия, которые могут сегодня похвастать достаточно большим объемом выпуска пиломатериалов, построены в основном на деньги иностранных инвесторов. В качестве примера реализации на базе предлагаемого подхода разработана модель автомата управления механизмом подачи круглопильного станка KARA Master, используемого в качестве головного оборудования, и представлена как в словесной, так и в графической форме.*

**Ключевые слова:** малые лесопильные предприятия; круглопильный станок; автоматный подход; SWITCH-технология; граф переходов.

## Development of logic control systems for automation sawmilling

I.V. Eliseev<sup>a</sup>, B.M. Shifrin<sup>b</sup>, V.A. Sokolova<sup>c</sup>

Saint Petersburg State Forest Technical University; 5, Institutsky Per., Saint Petersburg, Russia

<sup>a</sup>yeliseyef@yandex.ru, <sup>b</sup>shifrinb@mail.ru, <sup>c</sup>sokolova\_vika@inbox.ru

<sup>a</sup><https://orcid.org/0000-0002-1179-0146>, <sup>b</sup><https://orcid.org/0000-0001-5377-741X>,

<sup>c</sup><https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>

Received 19.10.2018, accepted 10.11.2018

*The article presents an approach to the development of logical control systems in the framework of the technological process of sawmilling. When creating various control systems, various algorithms and programming technologies are commonly used. As a result, the algorithms of logical control set at the design stage can be contradictory and incomplete, which introduces additional difficulties in the process of algorithmization and programming of control devices. In this article, as an approach to minimize such difficulties, it is proposed to use the so-called SWITCH-technology and the corresponding area of programming - automatic programming. This technology, which has proven itself for managing various objects, is supposed to be introduced for the development of models of a typed technological process of small sawmilling. The relevance of small sawmills is due to the fact that at the present stage, sawmilling in Russia is going through hard times. The condition of large sawmill centers is far from prosperous, when the output of edged sawn timbers ranged from hundreds of thousands to a million cubic meters for each individual enterprise. The equipment is outdated morally and financially. More than half of the produced lumber is being exported, moreover, of a higher grade than that consumed domestically. Large enterprises, which today can boast of a sufficiently large volume of lumber production, are built mainly with the money of foreign investors. As an example of implementation, on the basis of the proposed approach, a model of an automatic machine for controlling the feed mechanism of a circular saw KARA Master, used as head equipment, has been developed and is presented both verbally and in graphical form.*

**Keywords:** small sawmills; circular saw; automatic approach; SWITCH-technology; transition graph.

## Введение

На современном этапе лесопиление в России переживает отнюдь не лучшие времена. Состояние крупных лесопильных центров далеко от былого процветания, когда выпуск обрезных пиломатериалов исчислялся от сотен тысяч до миллиона кубометров для каждого отдельного предприятия. Морально и материально устарело оборудование. На экспорт поступает более половины производимых пиломатериалов, причем более высокой сортности, нежели потребляемых внутри страны. Крупные предприятия, которые могут сегодня похвастать достаточно большим объемом выпуска пиломатериалов, построены в основном на деньги иностранных инвесторов [1].

По мнению авторов [2; 3], к преимуществам малых лесопильных предприятий относятся следующие:

- Большая динамичность. На них, например, можно быстро выполнить требования потребителей по изменению не только размеров сечений и заготовок различного назначения, но и строганого погонажа и других видов пиломатериалов. При этом раскрой, начиная с хлыстов, можно производить по критерию конечной продукции.

- Лучшее выполнение экологических требований при использовании древесины из закрепленных сырьевых баз, полученной в результате санитарных и выборочных рубок с учетом местных условий и особенностей.

- Меньшие капитальные вложения и в несколько раз большая оборачиваемость капитала при небольшом количестве работающих, особенно административного состава. На малых предприятиях широко практикуются семейные, родственные отношения, совмещение обязанностей: директор-бухгалтер, инженер, оператор, квалифицированный рабочий, слесарь-электрик-автоматчик. Малые предприятия способны более оперативно решать не только экологические и экономические, но и социальные вопросы, выравнивать уровень занятости населения, способствовать активному созданию сферы соцкультбыта и решению целого ряда вопросов лесного комплекса нашей страны.

- Глубокая переработка древесины при ее комплексном использовании. На малых лесопильных и лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях наиболее рационально производство строганой продукции, мебельных щитов, оконных и конструктивных брусев и другой пилопродукции, вплоть до конечных изделий.

Применение однопильных круглопильных станков в качестве головного оборудования на малых лесопильных предприятиях обеспечивает хорошее соотношение «производительность– качество». Также отличительной особенностью таких линий является отсутствие необходимости строительства тяжелых фундаментов. При размещении технологических потоков на базе та-

ких станков можно ограничиться легкими ангарными постройками, а их функционирование требует достаточно невысокого потребления электроэнергии при устойчивой работе такого оборудования по сравнению с другими типами бревнопильного оборудования.

В настоящее время в мировой практике лесопиления все больше внедряется стратегия построения необходимых обрабатывающих линий из функциональных моделей-блоков, что позволяет решать следующие вопросы:

- значительно повысить технический уровень лесопильного производства, качество, надежность и долговечность оборудования;

- в несколько раз ускорить оснащение лесопильного производства новой техникой и сократить сроки компоновки оборудования;

- постоянно совершенствовать оборудование благодаря сквозному использованию единых габаритных и присоединительных размеров механизмов по всей системе, обладающих высокой степенью обратимости;

- позволяет решить проблему быстрой перекомпоновки линии.

Одним из потенциальных направлений развития «модульного принципа» в лесопилении, актуальным на данный момент, является разработка оптимизированных программных модулей и специализированных технологических программ, работающих в контуре систем управления агрегированных линий или функциональных модулей [4]. Из них в дальнейшем строятся различные технологические линии и участки лесоперерабатывающих производств.

*Постановка проблемы.* Вопросы унификации аппаратного обеспечения, в том числе в лесопилении, в настоящее время достаточно успешно решаются на основе микропроцессорных и микроконтроллерных комплектов, программируемых логических контроллеров и промышленных компьютеров [5; 6].

Однако при формировании общих подходов к созданию алгоритмического и программного обеспечения возникают трудности, связанные с необходимостью достижения их наглядности, структурированности, наблюдаемости и управляемости. Эти трудности усугубляются тем, что при создании различных систем управления обычно используются и различные технологии алгоритмизации и программирования. До настоящего времени задаваемые на этапе проектирования алгоритмы логического управления могут быть противоречивыми и неполными, что вносит дополнительные трудности в процесс алгоритмизации и программирования управляющих устройств [7–12].

В данной статье в качестве подхода, позволяющего минимизировать подобные трудности, предлагается использовать так называемую SWITCH-технологии и соответствующую область программирования — автоматное программирование. Эту технологию, прекрасно зарекомендовавшую себя для управления различными объектами [13–17], предполагается внедрить

для разработки моделей типизированного технологического процесса малого лесопиления.

**Цель.** Разработка модели автомата управления механизмом подачи круглопильного станка KARA Master в качестве примера реализации системы управления на базе SWITCH-технологии и ее графическое представление при помощи нотации графов переходов.

**Подход к решению.** Предлагается использование SWITCH-технологии, суть которой заключается в разработке функционального программного обеспечения для системы логического управления, базирующейся на теории конечных детерминированных автоматов и ее центральной понятии — «состояние».

Парадигма автоматного программирования [18; 19] состоит в представлении программ как систем автоматизированных объектов. При этом на основе анализа предметной области выделяются источники входных воздействий и автоматизированные объекты, каждый из которых содержит систему управления (систему взаимодействующих конечных автоматов) и объект управления. Этот объект реализует выходные воздействия и формирует значения второй разновидности

входных воздействий, которые от него передаются по обратным связям к системе управления. Объект управления может быть реальным или реализованным программно. В первом случае его логика не может быть изменена, а во втором, при необходимости, практически вся может быть вынесена в автоматы.

Основной особенностью SWITCH-технологии является использование в качестве математической модели графической нотации — графов переходов, что существенно увеличивает наглядность разрабатываемого проекта. Благодаря этому предлагаемая технология обеспечивает упрощение взаимодействия между заказчиком, технологом (проектировщиком), разработчиком, программистом, пользователем (оператором) и контролером, а также помогает перераспределить их роли, вплоть до отказа, например, от услуг «функционального» программиста.

**Разработка модели.** На рис.1 приведен общий вид станка [20], устройство подачи которого является объектом автоматизации в данной статье.

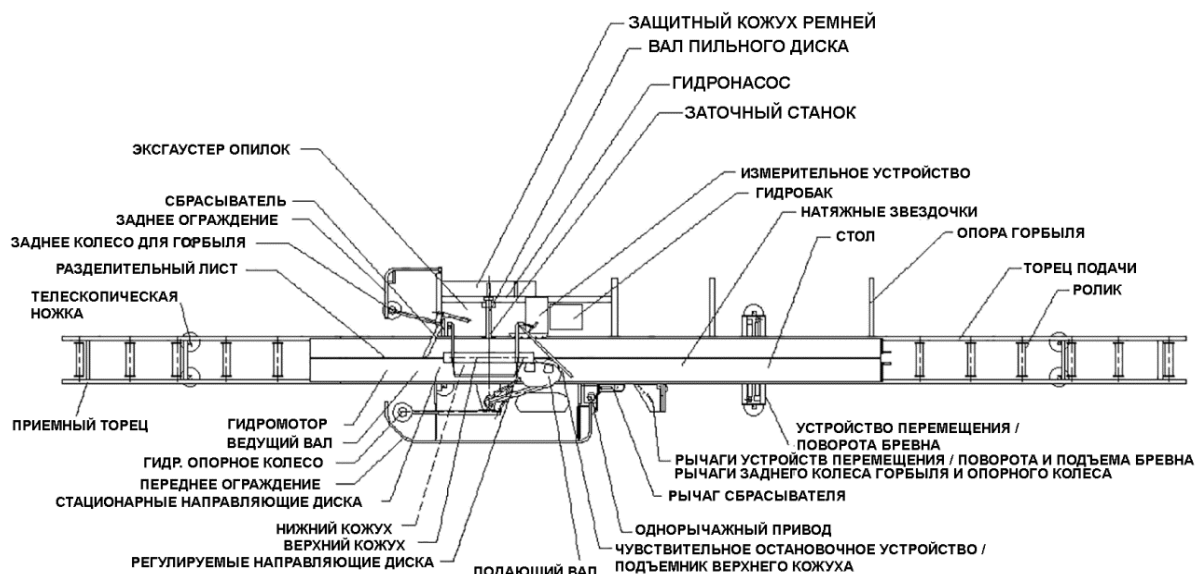


Рис.1. Станок KARAMaster (общий вид)

Устройство подачи работает от гидромоторов, соединенных последовательно, первый из которых (ГМ 1) передает силу при помощи цепи к ведущему валу, установленному отдельно на подшипниках. При помощи предусмотренной на ведущем валу звездочки сила передается на роликовую цепь, которая приводит в движение стол. Второй гидромотор (ГМ 2) вращает подающий ролик с вертикальной осью. С помощью цилиндра подающий ролик прижимает бревно к измерительному устройству и, таким образом, синхронно со столом подает распиливаемое бревно на пильный диск.

В графе переходов (рис. 2) описываемого автомата используются пять состояний:

0. «ИСХОДНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ПР». Состояние, в котором автомат находится в начальный момент вре-

мени при механизме продольного и вращательного перемещения подающего ролика (ПР).

1. «ДВИЖЕНИЕ ПР ВПЕРЕД». Состояние, в котором происходит продольное перемещение ролика для обжима бревна.

2. «РАБОТА ПР». Состояние автомата, в котором происходит вращение подающего ролика механизма, что приводит к перемещению бревна в зону пиления.

3. «СТОП». Остановка механизма подачи.

4. «ДВИЖЕНИЕ ПР НАЗАД». После поступления бревна на распиловку устройство отходит назад в продольном направлении на заданное расстояние во избежание столкновений со следующим бревном.

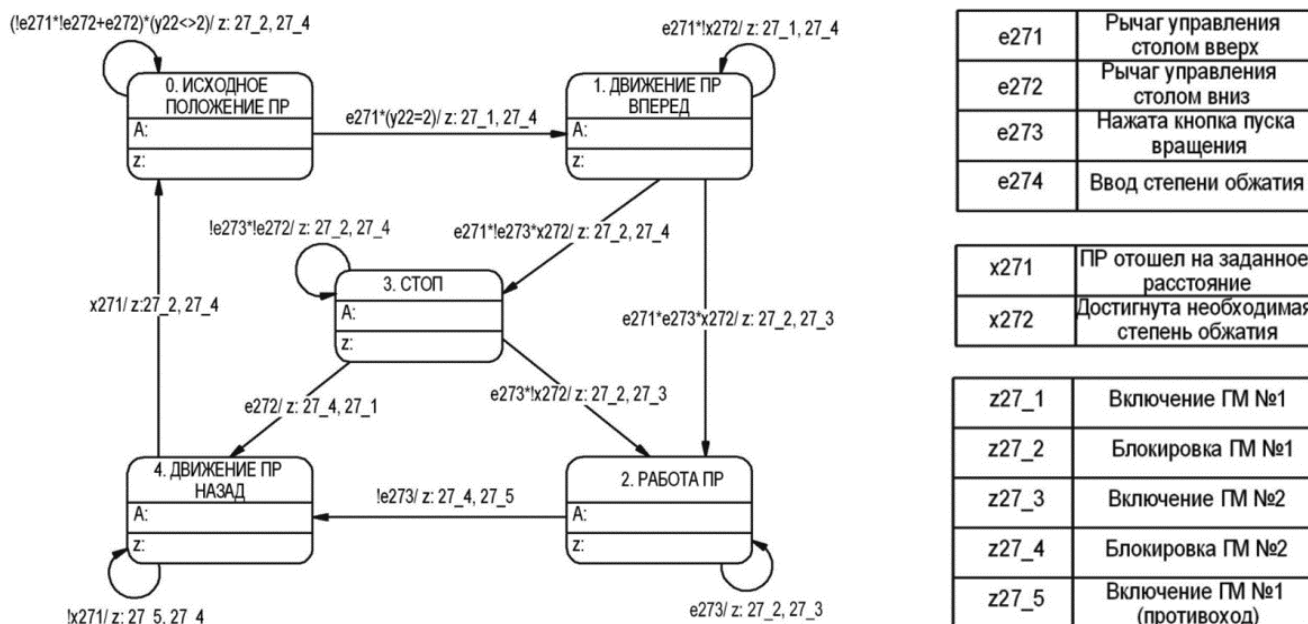


Рис. 2. Граф переходов автомата управления подающим механизмом

### Приведем словесное описание работы системы

1. Изначально устройство находится на заданном расстоянии от станка, чтобы избежать столкновения с надвигающимися в зону подачи бревнами. Движение обоих ГМ, осуществляющих продольное и вращательное движение механизмов подающего ролика, заблокировано ( $z27\_2, z27\_4$ ).

2. При изменении оператором положения управляющего рычага на «вверх» ( $e271$ ) и при условии блокировки движения подающего стола ( $y22=2$ ) происходит включение ГМ №1, отвечающего за продольное передвижение ПР ( $z27\_1$ ). В результате ПР начинает двигаться в зону подачи, вплоть до достижения необходимой степени обжатия бревна ( $x272$ ).

3. По достижению требуемой степени обжатия бревна, в зависимости от того, нажата или не нажата кнопка пуска вращения ПР ( $e273$ ), происходит переход автомата из состояния «ДВИЖЕНИЕ ПР ВПЕРЕД» в «СТОП» либо «РАБОТА ПР» соответственно. В этом случае привод ГМ № 2, отвечающий за вращение ПР, либо остается заблокированным ( $z27\_4$ ), либо запускается и вращается ( $z27\_5$ ) до момента перевода оператором рычага управления в положение «вниз» ( $e272$ ), либо если оператор просто отпустит кнопку на рычаге ( $!e273$ ).

4. После этого ГМ №2 блокируется ( $z27\_4$ ), включается ГМ №1 устройства ( $z27\_3$ ), однако перемещение совершается в обратную сторону и на заданное расстояние ( $x271$ ).

5. Если же автомат на 3-м шаге все же переходит в состояние «СТОП» ( $!e273$ ), то в этом состоянии автомат будет находиться до момента либо замыкания кнопки ( $e273$ ), либо автомат может перейти в состояние «ДВИЖЕНИЕ ПР НАЗАД» при условии изменения положения управляющего рычага с «вверх» на «вниз» ( $e272$ ). В этом слу-

чае выполняются те же действия, что были описаны в 4-м шаге.

### Заключение

Разрабатываемые на основе предлагаемого подхода модели позволяют автоматизировать получение управляющих программ для программируемых логических контроллеров, управляющих линией малого лесопиления, на базе которых преимущественно строится большинство систем управления, что, в конечном итоге, способствует повышению производительности и качества процесса лесопиления.

Помимо этого, построение систем на основе SWITCH-технологии позволяет сократить расходы на проектирование в кадровом плане (не требуются услуги программиста) и в плане временных затрат (управляющий код генерируется автоматически).

### Литература

- Калитеевский Р.Е. Лесопиление в XXI веке. Технология, оборудование, менеджмент. СПб.: ПРОФИ-ИНФОРМ, 2005. 480 с.
- Мещерякова А.А., Желтоухова Н.А. Анализ бревнопильного оборудования используемого в лесопильном производстве // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2, № 3-2 (8-2). С. 391-394.
- Иванов Д.В. Использование различного бревнопильного оборудования для производства пиломатериалов на малых предприятиях // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2003. № 5. С. 86-93.
- Прокофьев Г.Ф., Микловцик Н.Ю., Тюрин А.М. Новые лесопильные модули для использования в гибких автоматизированных лесопильных линиях // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2016. № 1 (349). С. 131-137.
- Гуров В.С., Мазин М.А., Нарвский А.С., Шальто А.А. Инструменты поддержки автоматного программирования

Программирование и программное обеспечение. 2007. Т. 33, № 6. С. 343-355.

6. Шальто А.А. Автоматное проектирование: Алгоритмизация и программирование задач логического управления // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2000. Т. 39. № 6. С. 899-916.

7. Александров А.В., Казаков С.В., Сергушичев А.А., Царев Ф.Н., Шальто А.А. Применение эволюционного программирования на основе обучающих примеров для генерации конечных автоматов управления объектами со сложным поведением // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2013. Т. 52, № 3. С. 410-425.

8. Шальто А.А. Граф схемы алгоритмов и графы переходов: их использование в программной реализации алгоритмов логического управления. I // Automation and Remote Control. 1996. Т. 57, № 6, Ч. 2. С. 890-898.

9. Шальто А.А. Граф схемы алгоритмов и графы переходов: их использование в программной реализации алгоритмов логического управления. II // Automation and Remote Control. 1996. Т. 57, № 6, Ч. 2. С. 1027-1045.

10. Чивиликин Д.С., Ульянов В.И., Шальто А.А. Модифицированный алгоритм колонии муравьев для построения конечных автоматов по сценариям выполнения и временным формулам // Automation and Remote Control. 2016. Т. 77, № 3. С. 473-484.

11. Моралес Д.Г., Алмейда Ф., Родригез С., Рода Д.Л., Колома И., Делгадо А. Параллельное динамическое программирование и теория автоматов // Параллельные вычисления. 2000. 26 (1). С. 113-134.

12. Торкестани Д.А., Мейбоди М.Р. Алгоритм клеточного обучения на основе автоматного подхода для решения задачи вершинной раскраски // Expert System with Applications. 2011. 38 (8). С. 9237-9247.

13. Елисеев И.В. Основные положения автоматного проектирования систем логического управления объектами лесопромышленного комплекса // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2007. № 178. С. 92-95.

14. Шифрин Б.М. Применение SWITCH-технологии для разработки логической модели управления процессом сушки шпона // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2008. № 185. С. 186-194.

15. Шифрин Б.М. Применение SWITCH-технологии для разработки логической модели управления процессом загрузки шпона // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2009. № 186. С. 151-155.

16. Елисеев И.В., Пендриков Е.С. Особенности алгоритмического и программного моделирования систем управления деревообрабатывающим оборудованием / ЛТА // Современные проблемы лесозаготовительных производств, производства материалов и изделий из древесины: пиломатериалы, фанера, деревянные дома заводского изготовления, столярно-строительные изделия: материалы Междунар. науч.-практической конф. СПб., 2009. Т. 2. С. 83-90.

17. Елисеев И.В. Решение задачи автоматизации лесопильных линий с использованием автоматного подхода и SWITCH-технологии / СПбГЛТА // Сб. материалов Междунар. науч.-практической конф. молодых ученых и специалистов. СПб., 2010. С. 224-230.

18. Шальто А.А. SWITCH-технология. Алгоритмизация и программирование задач логического управления. СПб.: Наука, 1998. 698 с.

19. Поликарпова Н.И., Шальто А.А. Автоматное программирование. СПб.: Питер, 2009. 176 с.

20. Черных П.П. Технологический процесс лесопиления на базе однопильных круглопильных станков KARA // Лес-ПромИнформ. 2003. № 12. С. 22-25.

#### References

1. Kaliteevskij R.E. Sawmilling In XXI century. Technology, Equipment, Management. Spb.: PROFI-INFORM, 2005. 480 p.

2. Meshcheryakova A.A., Zheltouhova N.A. Analysis of log saw equipment used in sawmill production // Aktual'nyenapravleniyanauchnyhissledovanij XXI veka: teoriyaipraktika. 2014. Т. 2, № 3-2 (8-2). P. 391-394.

3. Ivanov D.V. Manufacturing of sawmill products in the small wood plants with few timber saw equipment // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2003. № 5. P. 86-93.

4. Prokofev G.F., Miklovcik N.Yu., Tyurin A.M. New sawmill models for use in flexible automated sawmills // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2016. № 1 (349). P. 131-137.

5. Gurov V.S., Mazin M.A., Narvskij A.S., Shalyto A.A. Tools for support of automata-based programming // Programming and Computer Software. 2007. Т. 33, № 6. P. 343-355.

6. Shalyto A.A. Software automaton design: algorithmization and programming of problems of logical control // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2000. Т. 39. № 6. P. 899-916.

7. Aleksandrov A.V., Kazakov S.V., Sergushichev A.A., Carev F.N., Shalyto A.A. The use of evolutionary programming based on training examples for the generation of finite state machines for controlling objects with complex behavior // Journal of Computer and Systems Sciences International. 2013. Т. 52, № 3. P. 410-425.

8. Shalyto A.A. Algorithmic graph schemes and transition graphs: their use in software realization of logical control algorithms. I // Automation and Remote Control. 1996. Т. 57, № 6, Ч. 2. P. 890-898.

9. Shalyto A.A. Algorithmic graph schemes and transition graphs: their application in software realization of logical control algorithms. II // Automation and Remote Control. 1996. Т. 57, № 6, Ч. 2. P. 1027-1045.

10. Chivilikin D.S., Ulyancev V.I., Shalyto A.A. Modified ant colony algorithm for constructing finite state machines from execution scenarios and temporal formulas // Automation and Remote Control. 2016. Т. 77, № 3. P. 473-484.

11. Morales D.G., Almejda F., Rodrigez S., Roda D.L., Koloma I., Delgado A. Parallel dynamic programming and automata theory // Parallel Computing. 2000. 26 (1). P. 113-134.

12. Torkestani D.A., Mejbodi M.R. A cellular learning automata-based algorithm for solving the vertex coloring problem // Expert Systems with Applications. 2011. 38 (8). P. 9237-9247.

13. Eliseev I.V. Fundamentals of Automata-Based design logic control systems of wood working industry // IzvestiaSPbLTA. 2007. № 178. P. 92-95.

14. Shifrin B.M. Application of SWITCH-technology to design the logic model of veneer drying process control // Izvestia SPbLTA. 2008. № 185. P. 186-194.

15. Shifrin B.M. Application of SWITCH-technology to design the logic model of the loading veneer process // Izvestia SPbLTA. 2009. № 186. P. 151-155.

16. Eliseev I.V., Pendrikov E.S. Algorithmic and software features for modeling of the woodworking equipment control systems / LTA // *Sovremennye problemy lesozagotovitel'nyh proizvodstv, proizvodstva materialov i izdelij iz drevesiny: pilomaterialy, fanera, derevyannye doma zavodskogo izgotovleniya, stolyarno-stroitel'nye izdeliya: materialy Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. SPb., 2009. T. 2. P. 83-90.*
17. Eliseev I.V. Task solution of automation sawmills using Automata-Based approach and SWITCH-technology / SPbGLTA // *Sb. materialov Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. molodyhuchenyh i specialistov. SPb., 2010. P. 224-230.*
18. Shalyto A.A. SWITCH-technology. Algorithmization and programming of the logic control systems. SPb.:Nauka, 1998. 698 p.
19. Polikarpova N.I., Shalyto A.A. Automata-Based programming. SPb.:Piter, 2009. 176 p.
20. Chernyh P.P. The sawmilling process based on circular sawing machines KARA // *LesPromInform. 2003. № 12. P. 22-25.*