

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЗАГОТОВКИ И ВЫВОЗКИ ДРЕВЕСИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

кандидат технических наук, доцент **А.П. Мохирев**
кандидат технических наук, доцент **М.М. Герасимова**
студент **М.М. Красильников**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», Лесосибирский филиал, г. Лесосибирск, Российская Федерация

Принятие правильных управленческих решений в лесозаготовительной промышленности – это сложная многофакторная задача. Многовариантность решений складывается из различных вариантов применения технологических цепочек лесосечных работ и вывозки древесины. Ведь на сегодняшний день на рынке предлагается множество вариантов систем лесозаготовительных машин, с использованием лесных складов или без них с вывозкой древесины в различные периоды года. Для решения всех этих задач в предыдущих исследованиях предложены математические зависимости, алгоритм и методики позволяющие осуществить поиск максимального потока минимальной стоимости в динамической структуре технологического процесса выполнения работ на предприятии. Они определяют условия решения поставленной задачи при решении методом графов. Однако предложенные расчеты для графов с большим количеством вершин и соединяющих их дуг весьма трудоемки и требуют больших временных затрат. Для решения данной проблемы в статье представлена разработка компьютерного приложения, выполняющего основные вычисления и рассчитывающего оптимальные технологические последовательности операций. Представлен алгоритм работы приложения, его описание и принцип работы. Разработанная программа позволяет автоматизировать процесс нахождения оптимальной последовательности технологических операций производственного процесса лесозаготовительного предприятия. При получении результатов имеется возможность сравнивать и анализировать различные варианты технологического процесса для принятия решений.

Ключевые слова: технологический процесс, вывозка древесины, компьютерная программа, граф, лесной склад, технологическая цепочка.

IMPROVEMENT OF THE OPERATING PROCEDURE OF WOOD HARVESTING AND TRANSPORTATION USING INFORMATION TECHNOLOGY

PhD (Engineering), Associate Professor **A.P. Mokhirev**
PhD (Engineering), Associate Professor **M.M. Gerasimova**
Student **M.M. Krasilnikov**

FSBEI HE "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology",
Lesosibirsk branch, Lesosibirsk, Russian Federation

Abstract

Making the right management decisions in the logging industry is a complex multi-factorial task. The multivariance of solutions consists of various options for the application of technological chains of logging operations and timber transportation. Indeed, today the market offers a lot of options for systems of forestry machines, with or

without forest storage with timber transportation at different seasons. Previous studies propose mathematical dependencies, an algorithm, and methods to solve all these problems. It makes it possible to search for the maximum flow of minimum cost in the dynamic structure of the technological process of performing work at the enterprise. They determine the conditions for solving the problem by the graph method. However, the proposed calculations for graphs with a large number of vertices and arcs connecting them are very laborious and require a lot of time. To solve this problem, the article presents the development of a computer application that performs basic calculations and calculates the optimal technological sequence of operations. The algorithms of the application, its description and principle of operation have been presented. The developed program enables to automate the process of finding the optimal sequence of technological operations in the logging enterprise operating procedure. Upon receipt of the results, it is possible to compare and analyze various process options for decision making.

Keywords: operating procedure, timber transportation, computer program, graph, timber warehouse, process chain

Введение

Лесная промышленность в России всегда занимала немаловажное место. Однако лишь относительно недавно она стала приобретать глобальное значение, наращивая обороты с развитием различных технических и транспортных средств. Появилось много компаний, каждая из которых с целью оптимизировать процесс лесозаготовки разрабатывает свои методы и алгоритмы. Данные алгоритмы позволяют определить, в каком месте проводить заготовку, по какому пути перевозить груз, на каком этапе перевозки лучше осуществлять обработку и т.д.

Существует множество вариантов организации технологического процесса заготовки и вывозки древесины, причем использование маршрутов ее доставки носит сезонный характер. На каком-то участке дороги наиболее эффективна вывозка в зимнее время, а на каком-то – в летнее. Во многих случаях в определенный сезон транспортировка древесины вообще не возможна. Кроме того, специфика лесовозных маршрутов – ограниченная пропускная способность [5, 11, 12]. Природно-климатические, почвенно-грунтовые условия в различные периоды года значительно разделяют дороги по затратам на их восстановление, обслуживание, себестоимости транспортировки древесины, пропускной способности.

За долгие годы эксплуатации лесных участков, на них сформировалось большое количество транспортных путей. Перед лесозаготовителем возникает задача – найти из множества имеющихся транспортных путей, учитывая природно-климатические особенности в

течение года, оптимальный маршрут транспортировки древесины с лесосеки до потребителя с минимальными затратами. Данная задача наиболее актуальна при создании сезонных запасов (нижних или промежуточных складов), создаваемых внутри маршрута. На практике решения о создании такого склада, сроках и объемах его работы принимаются без глубоких расчетов и часто не обоснованы. Решение рассматриваемой задачи позволит предприятию не только увеличить выручку и прибыль, но и решить проблему с эффективным распределением грузопотоков в различных периодах года [11, 12].

Особенно актуальна данная задача в сибирском регионе. В частности, в Красноярском крае расстояние транспортировки сухопутным транспортом достигает до 300 км. При этом часто имеется альтернатива доставки древесины водным путем [9].

В настоящее время разными исследователями разработаны оптимизационные математические модели размещения транспортных сетей, отличающиеся учетом динамики таксационных характеристик насаждений, позволяющие проектировать сеть дорог для вывозки древесины [9], предложены критерии, модели и алгоритмы формирования транспортных потоков лесоматериалов с арендуемых лесозаготовительных участков к потребителям [3, 4, 6, 14]. Так, в диссертации А.П. Мохирева [9] для проектирования сети дорог в основу построения модели положен алгоритм построения минимального покрывающего дерева. В работах автора Р. Kovács [3], авторов А. Mokhirev, М. Gerasimova,

М.К. Pozdnyakova [4] и А.В. Боженюка, Е.М. Герасименко, И.Н. Розенберга [6] к решению поставленной задачи подходят с использованием алгоритма нахождения потока минимальной стоимости. Исследователи из ПетрГУ А.П. Соколов и В.С. Сюнев [14] предлагают оптимизационную модель синтеза транспортного плана перевозок древесины, реализованной в соответствующей системе поддержки принятия решений. Однако предлагаемые подходы не учитывают сезонного районирования лесных участков для рациональной транспортировки древесины в течение года. Также данные методики трудозатратны при их практической реализации, а программного обеспечения они не имеют.

Исходя из условий многовариантности технологических процессов заготовки и вывозки древесины на реальных лесозаготовительных предприятиях, возникает следующая производственная задача. На лесосеках ведется заготовка древесины в виде хлыстов, деревьев и сортиментов, которые могут вывозиться на промежуточный, нижний лесной склад или непосредственно заказчику. На складах может осуществляться обработка – обрезка сучьев и раскряжевка. С промежуточного склада груз доставляется на нижний склад или заказчику, с нижнего склада – заказчику водным или сухопутным транспортом. Все эти операции могут осуществляться в нескольких временных периодах и переходить из одного в другой, характеризуются максимальным пропускным объемом и переменными затратами (на обработку или транспортировку кубического метра древесины). Необходимо найти такие оптимальные последовательности операций в течение рассматриваемых временных периодов, чтобы суммарный объем вывезенной древесины был не меньше необходимого потребителю и не больше заготовленного на лесосеках, а затраты на их выполнение – минимальными.

Материалы и методы

Для решения поставленной задачи деятельность лесозаготовительного предприятия можно представить в виде динамической транспортной сети, от которой необходимо перейти к «растянутому во времени» на несколько периодов

статическому графу [2, 6, 10]. Вершины в графе соответствуют лесосекам, потребителям, операциям технологического процесса в каждый период времени для каждого объекта труда (деревья, хлысты, сортименты). Решение задачи сводится к поиску в графе заданного потока минимальной стоимости.

В работе А.П. Мохирева., К.П. Рукомойникова (2019) [13] представлено описание многовариантности технологического процесса лесозаготовок в виде графа и методика его решения. Предложены математические зависимости, позволяющие осуществить поиск максимального потока минимальной стоимости в динамической структуре технологического процесса выполнения работ на предприятии. Они определяют условия решения поставленной задачи. Предложенная графоаналитическая модель позволит осуществить аналитический подход к обоснованию последовательности транспортировки древесины с лесосек, обоснованию использования в лесозаготовительном процессе лесных складов, рейдов, применению погрузочно-разгрузочных работ, обрабатывающих операций, вида транспорта, выбору потребителя и вида конечной товарной продукции в динамических природно-производственных условиях функционирования лесозаготовительного предприятия. Отличительной характеристикой предложенной модели является ее функционирование на основе учета производительности и трудозатрат, предложенных в качестве пропускных способностей дуг графа.

Так как расчеты для графов с большим количеством вершин и соединяющих их дуг весьма трудоемки и требуют больших временных затрат, необходима разработка компьютерного приложения, выполняющего основные вычисления и рассчитывающего оптимальные технологические последовательности операций. Для реализации программного продукта использована среда программирования RAD Delphi XE3.

Результаты и обсуждение

Блок-схема работы программы представлена на рис. 1. В качестве первоначальных исходных данных представляется файл в формате Excel. Заголовки строк – сокращенные названия

предшествующих операций, заголовки столбцов – названия текущих операций. На пересечении столбцов и строк находятся следующие данные: пропускная способность операции (максимальный объем), переменные затраты (на единицу объема), постоянные затраты (учитываются при хранении древесины между периодами), расстояние транспортировки древесины (для операций транспортировки). Если на пересечении каких-либо строк и столбцов данных нет, то невозможно выполнить выбранную текущую операцию после выбранной предшествующей. Ввиду сезонности работ некоторые операции также могут быть временно недоступны, в таблице это обозначается приравниванием переменных затрат бесконечности. Данные разделены на группы: операции лесосек и транспортировки с них (на промежуточный, нижний склад или заказчику), операции промежуточного склада и транспортировки (на нижний склад, заказчику, на лесосеки) и операции нижнего склада и транспортировки (на лесосеки, на нижний склад, заказчику сухопутным и водным путем).

Все вышеперечисленные показатели рассчитываются на основе данных, полученных в результате анализа и введенных пользователем (специалистом) в другой лист файла Excel.

Исходные данные формируются в виде табличных данных в среде Excel. В матрице в столбцах и строках обозначаются входные данные потоков между вершин (рис. 2). Входными технологическими данными являются: объем древесины, заготавливаемой на лесосеках, пропускные способности дуг графа, равные производительности машин и оборудования в течение временного периода, переменные затраты, равные стоимости перемещения единицы потока по дугам графа, постоянные затраты, которые учитываются при условии хранения древесины между периодами, объем древесины, необходимый потребителю.

Панель меню программы содержит пункты Файл, Настройки, Справка. В пункте Файл отображаются доступные действия с входными и выходными данными: Открыть – для загрузки таблицы Excel в программу, Сохранить – для

сохранения полученных результатов в таблицу. При выборе пункта Настройки можно изменить такие параметры, как размер шрифта, высоту и ширину ячеек таблицы и т.д. В пункте Справка выводятся разъяснения о структуре вывода результатов и расшифровке названий технологических операций.

Расчеты начинаются после выбора таблицы с данными в пункте меню Файл – Открыть и нажатия кнопки Расчет. Под таблицей выводится прогресс выполнения расчетов. Для нахождения потока минимальной стоимости в транспортной сети применяется алгоритм Басакера-Гоуэна, в котором кратчайший маршрут определяется на основании алгоритма Форда-Беллмана [1, 7, 8]. На каждой итерации определяется кратчайший путь от фиктивного источника (лесосеки) к фиктивному стоку (потребителю), по которому перемещается максимально возможный объем продукции. После этого строится остаточная сеть, рассчитывается время, оставшееся до окончания временных периодов, и пересчитываются пропускные способности дуг.

Выходными данными являются оптимальный путь от источника до стока (оптимальная технологическая цепочка), минимальные затраты на выполнение технологических операций и соответствующие объемы продукции (величина потока). Полученные результаты сохраняются в табличный документ, что позволяет хранить и сравнивать их при разных исходных данных и использовать отдельно от программы. Результаты расчета и интерфейс программы представлены на рис. 3.

Выводы

Разработанная программа позволяет автоматизировать процесс нахождения оптимальной последовательности технологических операций производственного процесса лесозаготовительного предприятия. Подобные расчеты вручную требуют больших временных затрат и очень трудоемки, поэтому данное приложение позволит значительно сократить трудозатраты и время на их выполнение. Полученные результаты хранятся и используются отдельно от программы в файле, что позволяет находить и сравнивать различные варианты при

изменениях в исходных данных. На основании результатов расчетов исследователь может анализировать технологический процесс и принимать решения. Работоспособность программы

подтверждена практической реализацией на примере лесозаготовительного участка ЗАО «Новоенисейский ЛХК».

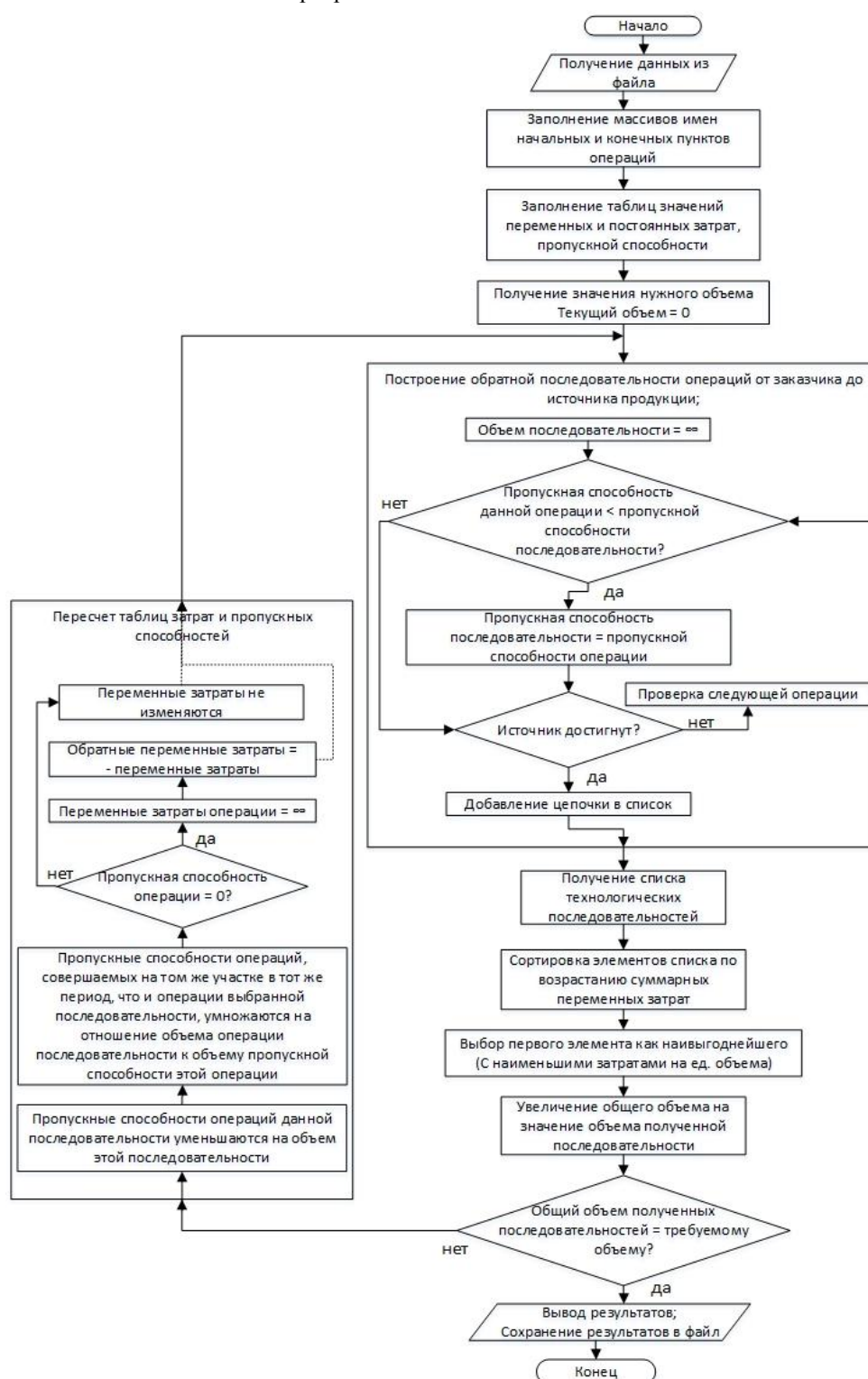


Рис. 1. Блок-схема работы программы по совершенствованию технологического процесса заготовки и вывозки древесины (собственная разработка авторов)

Лесоинженерное дело

Промежуточный склад			Обрезка сучьев					ПОГРУЗКА НА АВТО НА П/С				
			О1	О2	О3	О4	О5	ПД1	ПД2	ПД3	ПД4	ПД5
РД111	фр,О	фрД,ПД	68200	17050	25200	24800	24850	68200	17050	25200	24800	24850
	ср,О	срД,ПД	120	120	-	120	120	120	120	-	120	120
	з	з	0	800	1600	2400	3200	0	800	1600	2400	3200
РД121	фр,О	фрД,ПД		17050	25200	24800	24850		17050	25200	24800	24850
	ср,О	срД,ПД		120	-	120	120		120	-	120	120
	з	з		0	800	1600	2400		0	800	1600	2400
РД131	фр,О	фрД,ПД			25200	24800	24850			25200	24800	24850
	ср,О	срД,ПД			-	120	120			-	120	120
	з	з			0	800	1600			0	800	1600
РД141	фр,О	фрД,ПД				24800	24850				24800	24850
	ср,О	срД,ПД				120	120				120	120
	з	з				0	800				0	800
РД151	фр,О	фрД,ПД					24850					24850
	ср,О	срД,ПД					120					120
	з	з					0					0

Рис. 2. Фрагмент таблицы входных данных (собственная разработка авторов)

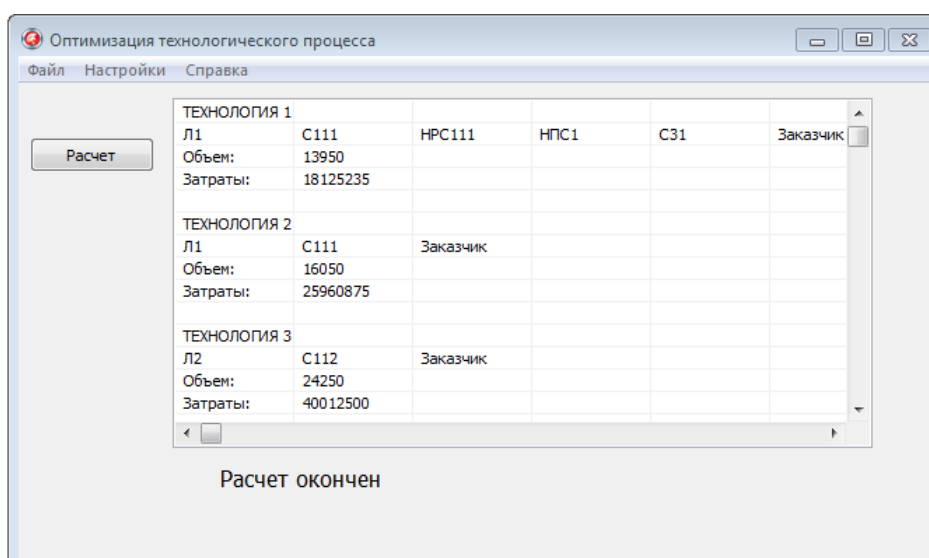


Рис. 3. Пример цепочек, построенных программой (собственная разработка авторов)

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта: «Исследование и моделирование процессов развития экономики лесной промышленности региона в контексте природно-климатических условий и ресурсного потенциала», № 18-410-240003.

Участие в «Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики» проведено при поддержке Красноярского краевого фонда науки».

Библиографический список

1. Ahuja R.K., Magnanti T.L., Orlin J. B. Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1993. 846 p.
2. Bozhenyuk A., Gerasimenko E., Rozenberg I. (2012) The methods of maximum Flow and minimum cost flow finding in fuzzy network. *Proce. the Concept Discovery in Unstructured Data Workshop (CDUD 2012) 10th Int Conf. on Formal Concept Analysis (ICFCA 2012) 6-10 May 2012, Leuven Katholieke Universiteit, Belgium* pp 1-12.
3. Kovács P. Minimum-cost flow algorithms: An experimental evaluation. *EGRES Technical Report*. 2013. № 4. DOI: 10.1080/10556788.2014.895828.

4. Mokhirev A., Gerasimova M., Pozdnyakova M. Finding the optimal route of wood transportation / IOP Conf. Ser.: Earth Environ, 2019 Sci. 226 012053. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/226/1/012053> doi:10.1088/1755-1315/226/1/012053.
5. Rukomoinikov K.P. Structuring of loading points and main skid road in conditions of existing road network in forest compartment // Journal of Applied Engineering Science. – 2015. – Т. 13. – № 3. – С. 167–174.
6. Боженюк, А. В. Определение потока минимальной стоимости в нечетком динамическом графе / А. В. Боженюк, Е. М. Герасименко, И. Н. Розенберг // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2013. – № 5. – С. 149-154. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-potoka-minimalnoy-stoimosti-v-nechetkom-dinamicheskom-grafe>.
7. Йенсен, П. Потокоевое программирование / П. Йенсен, Д. Барнес. – Москва : Радио и связь, 1984. – 392 с.
8. Кристофидес, Н. Теория графов / Н. Кристофидес. – Москва : Мир, 1978. – 432 с.
9. Мохирев, А. П. Обоснование проектирования сети лесных дорог на примере предприятий Нижнего Приангарья : дис. ... канд. техн. наук : специальность 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства» / Мохирев Александр Петрович. – Красноярск, 2007. – 176 с.
10. Нахождение маршрутов доставки древесины с минимальными транспортными затратами с учетом сезонности грузоперевозок / А. П. Мохирев, М. М. Герасимова, К. А. Комаров, В. Ю Фомина. // Forest Engineering: матер. науч.-практ. конференции с междунар. участием. – Якутск, 2018. – С. 162–165.
11. Рукомойников, К. П. Графоаналитическое моделирование технологии поквартального освоения лесосек в нечетких динамических природно-производственных условиях / К. П. Рукомойников // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – URL: <https://science-education.ru/120-16417>.
12. Рукомойников, К. П. Выбор рациональной технологии и обоснование параметров поквартального освоения лесных участков : монография / К. П. Рукомойников. – Йошкар-Ола : Поволжский государственный технологический университет, 2016. – 296 с.
13. Рукомойников, К. П. Обоснование технологической схемы лесозаготовительных работ путем создания динамической модели функционирования предприятия / К. П. Рукомойников, А. П. Мохирев // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2019. – № 4. – С. 94–107. – DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.94.
14. Соколов, А. П. Оптимизационная модель синтеза транспортного плана перевозок древесины / А. П. Соколов, В. С. Сютёв // Resources and Technology 13 (1). – 2016. – С. 1–22. – URL: <https://rt.petrsu.ru/journal/article.php?id=3201>.
15. Сушков, А. С. Обоснование транспортных потоков лесоматериалов в малолесных регионах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : специальность 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства» / Сушков Артем Сергеевич. – Йошкар-Ола, 2013. – 18 с.

References

1. Ahuja R.K., Magnanti T.L., Orlin J. B. Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1993. 846 p.
2. Bozhenyuk A., Gerasimenko E., Rozenberg I. (2012) The methods of maximum Flow and minimum cost flow finding in fuzzy network. In *Proce. the Concept Discovery in Unstructured Data Workshop (CDUD 2012) 10th Int Conf. on Formal Concept Analysis (ICFCA 2012) 6-10 May 2012, Leuven Katholieke Universiteit, Belgium*, pp 1-12.
3. Kovács P. Minimum-cost flow algorithms: An experimental evaluation. *EGRES Technical Report*. 2013. № 4. DOI: 10.1080/10556788.2014.895828.

4. Mokhiev A., Gerasimova M., Pozdnyakova M. Finding the optimal route of wood transportation / IOP Conf. Ser.: Earth Environ, 2019 Sci. 226 012053. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/226/1/012053> doi:10.1088/1755-1315/226/1/012053.
5. Rukomoinikov K.P. (2015) Structuring of loading points and main skid road in conditions of existing road network in forest compartment. *Journal of Applied Engineering Science*. Vol. 13, № 3. P. 167-174.
6. Bozhenyuk A.V., Gerasimenko E.M., Rozenberg I.N. (2013) *Opredelenie potoka minimal'noj stoimosti v nechetkom dinamicheskom grafe* [Determination of the flow of minimum cost in fuzzy dynamic graph]. *Izvestiya YUzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [News southern Federal University. Technical science]. No 5, pp. 149-154. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-potoka-minimalnoy-stoimosti-v-nechetkom-dinamicheskom-grafe> (in Russian).
7. Jensen P., Barnes D. *Potokovoe programmirovaniye* [Streaming programming]. Moscow: Radio and communication, 1984. 392 p. (in Russian).
8. Christofides N. *Teoriya grafov* [Graph theory]. Moscow: World, 1978. 432 p. (in Russian).
9. Mokhiev A.P. *Obosnovaniye proektirovaniya seti lesnyh dorog na primere predpriyatij Nizhnego Priangar'ya*. Diss. kand. tekhn. nauk [Substantiation of the design of the network of forest roads on the example of Lower Angara region. PhD diss.]. Krasnoyarsk, 2007. 176 p. (in Russian).
10. Mokhiev A.P., Gerasimova M. M., Komarov K. A., Fomina V. Y. *Nahozhdeniye marshrutov dostavki drevesiny s minimal'nymi transportnymi zatratami s uchetom sezonnosti gruzoperevozok* [Finding the delivery routes of wood with a minimum transport cost with the seasonality of transportation]. *Forest Engineering: materialy nauch.-prakticheskoy konf. s mezhdunar. uchastiem* [Forest Engineering: materials scientific.-practical Conf. international. participation]. Yakutsk, 2018. pp. 162-165 (in Russian).
11. Rukomoinikov K.P. (2014) *Grafoanaliticheskoye modelirovaniye tekhnologii pokvartal'nogo osvoeniya lesoshek v nechetkih dinamicheskikh prirodno-proizvodstvennykh usloviyakh* [Graphoanalytical modeling of quarterly forest-land development technology in fuzzy dynamic natural production conditions]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. No 6. URL: <https://science-education.ru/120-16417> (in Russian).
12. Rukomoinikov K.P. *Vybor racional'noj tekhnologii i obosnovaniye parametrov pokvartal'nogo osvoeniya lesnyh uchastkov* [Choice of rational technology and justification of quarterly OS-voenie of forest areas]. Yoshkar-Ola: Volga region state technical University, 2016. 296 p. (in Russian)
13. Rukomoinikov K.P., Mokhiev A.P. (2019) *Obosnovaniye tekhnologicheskoy skhemy lesozagotovitel'nykh rabot putem sozdaniya dinamicheskoy modeli funkcionirovaniya predpriyatiya* [Substantiation of the technological scheme of logging operations by creating a dynamic model of functioning of the enterprise]. *Lesnoj zhurnal* [Forest journal]. No. 4, pp. 94-107 (in Russian). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.4.94.
14. Sokolov A.P., Syuneyev V.S. (2016) *Optimizatsionnaya model' sinteza transportnogo plana perezovozok drevesiny* [Optimization model of synthesis of wood transport plan]. *Resources and Technology* 13 (1), pp. 1-22 (in Russian). URL: <https://rt.petrus.ru/journal/article.php?id=3201>.
15. Sushkov A.S. *Obosnovaniye transportnykh potokov lesomaterialov v malolesnykh regionakh: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Substantiation of transport flows of forest products in sparsely wooded areas: abstract. PhD diss.]. Yoshkar-Ola, 2013. 18 p.

Сведения об авторах

Мохиев Александр Петрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств Лесосибирского филиала ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Лесосибирск, Российская Федерация; e-mail: ale-mokhiev@yandex.ru.

Герасимова Марина Михайловна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных и технических систем Лесосибирского филиала ФГБОУ ВО «Сибирский государственный

университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Лесосибирск, Российская Федерация; e-mail: marina-gerasimov@list.ru.

Красильников Михаил Михайлович – студент Лесосибирского филиала ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Лесосибирск, Российская Федерация; e-mail: mihalych998@mail.ru.

Information about authors

Mokhirev Alexander Petrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor, Lesosibirsk branch of FSBEI HE "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology", Lesosibirsk, Russian Federation; e-mail: ale-mokhirev@yandex.ru.

Gerasimova Marina Mihajlovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Associate Professor, Lesosibirsk branch of FSBEI HE "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology", Lesosibirsk, Russian Federation; e-mail: marina-gerasimov@list.ru.

Krasil'nikov Mihail Mihajlovich – master's degree student, Lesosibirsk branch of FSBEI HE "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology", Lesosibirsk, Russian Federation; e-mail: mihalych998@mail.ru.