

УДК 630\*383.4

**П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, А. И. Науменко**

Белорусский государственный технологический университет

**ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗВИТИЯ СЕТИ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

В настоящее время в связи с ухудшением экологической обстановки и увеличением лесных массивов все большее значение приобретает оптимизация использования лесных ресурсов на основе принципа непрерывного неистощительного лесопользования. При этом необходимо решить целый комплекс задач, среди которых одной из важнейших является формирование опорной сети лесотранспортных путей в экономически доступной сырьевой базе лесозаготовительного предприятия, которое обеспечит рациональное лесопользование.

Ситуация в лесной отрасли такова, что в ближайшее десятилетие надо практически заново создать лесную дорожную сеть. Поэтому для решения дорожной проблемы в лесной отрасли требуются государственные инвестиции, возврат которых возможен при высокой рентабельности работы лесозаготовителей и переработчиков древесины. Большинству из них предстоит создавать новую мощную производственную базу, развивать социальную инфраструктуру.

Дальнейший прирост лесной дорожной сети по мере ее формирования, при удалении лесосеки, может быть реализован и без государственных инвестиций. Возврат частных капиталовложений может быть осуществлен в короткий срок.

В статье представлены современные принципы прогнозирования развития существующей сети лесотранспортных путей. Предложена модель оптимизации использования лесных ресурсов на основе принципа непрерывного неистощительного лесопользования. В качестве целевой функции для сети лесных дорог с бесконечным сроком функционирования предложены суммарные затраты с приведением к единому моменту времени с учетом фактических сроков службы дорожной одежды, земляного полотна и искусственных сооружений.

**Ключевые слова:** лесотранспортная сеть, развитие, экономическая доступность.

**P. A. Lyshchik, J. I. Bavbel, A. I. Naumenko**

Belarusian State Technological University

**BASIC PRINCIPLES OF FOREST ROAD NETWORK DEVELOPMENT**

At present, due to the deterioration of the environmental situation and the increase in forest areas, it is becoming increasingly important to optimize the use of forest resources based on the principle of continuous sustainable forest management. At the same time, it is necessary to solve a whole set of tasks, among which one of the most important is the formation of a supporting network of forest transport routes in an economically accessible raw material base of a logging enterprise that will ensure rational forest management.

The situation in the forest industry is such that in the next decade it is necessary to practically recreate the forest road network. Therefore, to solve the road problem in the forest industry, public investments are required, which can be returned if the work of loggers and wood processors is highly profitable. Most of them will have to create a powerful new production base and develop social infrastructure.

Further growth of the forest road network as it is formed, with the removal of the forest section, can be realized without public investment. The return of private capital investments can be made in a short time.

The article presents modern principles of forecasting the development of the existing network of forest transport routes. A model for optimizing the use of forest resources based on the principle of continuous sustainable forest management is proposed. As a target function for a network of forest roads with an infinite period of operation, the total costs are proposed with the reduction to a single point in time, taking into account the actual service life of road clothing, roadbed and artificial structures.

**Key words:** forest transport network, development, economic accessibility.

**Введение.** Транспортная инфраструктура – важнейшая составляющая хозяйственного освоения территорий, богатых ресурсами. Чем выше плотность лесных автомобильных дорог и дорог общего пользования, чем лучше развита лесотранспортная сеть, тем короче расстояние вывозки по лесным дорогам, тем эффективнее используются ресурсы, тем выше их доходность. Без развитой дорожной сети нельзя эффективно пользоваться дарами леса и обеспечить надлежащий за ним уход.

Для обеспечения успешной работы лесного комплекса в целом, для освоения лесных массивов необходимо иметь разветвленную транспортную сеть лесных дорог, густота которых для условий Республики Беларусь должна составлять 0,432 км на 100 га (в настоящее время она составляет 0,222 км на 100 га) [1, 2].

**Основная часть.** Развитие дорожной сети лесного фонда опирается на систему принципов,

в основе которых лежит комплексный системный подход, предусматривающий, что:

– дорожную сеть следует рассматривать как важнейший элемент инфраструктуры района, обеспечивающий деятельность всех отраслей материального производства и непродуцированной сферы;

– дорожная сеть должна отражать прямые и обратные связи в системе «автомобильно-дорожный комплекс – развитие производительных сил»;

– расчет эффективности инвестиций необходимо производить с учетом всех затрат и эффектов, получаемых на транспорте и вне его (в других отраслях материального производства и в социальной сфере), а также с учетом влияния фактора времени и неопределенности исходной информации.

К прогнозу развития сети лесных автомобильных дорог следует подходить с позиций комплексного социально-экономического развития области на основе оптимальных территориальных пропорций. Областному ПЛХО должна соответствовать инфраструктура, включающая сеть автомобильных дорог общего пользования и лесных дорог [1–4].

Дороги общего пользования и лесные дороги призваны обеспечивать транспортные связи и производства, и населения. Объем и направление производственных транспортных связей зависят от уровня развития и размещения производства, степени его концентрации, специализации и кооперирования. Транспортные связи населения определяются уровнем жизни людей и перспективами его роста, подвижностью населения, характером развития сферы обслуживания, особенностями развития общественного и индивидуального транспорта, требованиями улучшения окружающей среды, созданием рекреационных условий и др.

Поэтому при планировании областных комплексов дорожная сеть рассматривается в двух взаимосвязанных аспектах: как фактор районобразующего значения, оказывающий влияние на масштабы, структуру и территориальную организацию лесного хозяйства, и как составная часть системы инженерного оборудования района.

В первом случае оценивается влияние дорожной сети на расселение, размещение промышленности, сферы обслуживания населения; во втором случае определяются мощности, пропускные способности автомобильных дорог, необходимые для осуществления всех производственных, пассажирских, административных, социально-культурных связей, т.е. оценивается влияние окружающей среды на автомобильные дороги.

Усложнение процессов размещения производства, населения, а также всех систем коммуникаций, усиление требований к бережному

использованию окружающей среды, возрастные роли социальных факторов в развитии общества – все это указывает на необходимость системного анализа географических, экономических и планировочных особенностей территории при проектировании сетей автомобильных дорог. Кроме того, должны учитываться прямые и обратные связи системы взаимодействия элементов территориально-производственного комплекса. Например, если первоначально дорожная сеть проектируется с учетом экономических транспортных связей, существующих или проектируемых на определенный период времени, то затем сам факт создания новых транспортных путей вызывает к жизни новые, ранее не предусмотренные транспортные связи, которые требуют усиления пропускной способности дорог. Таким образом, сеть автомобильных дорог общего пользования и лесных дорог как планировочная система характеризуется [1–4]:

– *многообразием и разнотипностью прямых и обратных связей*, существующих как между отдельными компонентами системы, так и между системой в целом и внешней средой, природно-климатической и социально-экономической. Развитие дорог регулируется производством, характером расселения, занятостью, условиями жизни людей. Прямые и обратные экономические связи, от которых зависят мощности, пропускные способности, конструктивные особенности дорог, определяют уникальность сооружения, его локальную закреплённость;

– *разновременностью сооружения различных элементов системы* (дорожных объектов), большим временным периодом функционирования системы в целом и различием во времени реконструкции тех или иных участков сети, переводом их в другие технические категории, обусловленные созданием новых производств, разработкой природных ресурсов и др.;

– *динамичностью системы*. Дорожная сеть постоянно развивается, хотя темпы и характер ее изменения неодинаковы в различные периоды времени, так как на них влияет множество факторов, связанных с переоценкой природного и экономического потенциала района, с вероятностным характером роста и изменениями структуры населения, его занятости, а также с масштабами и темпами изменения внутрирайонных и межрайонных связей, особенно в условиях рынка;

– *невозможностью предварительного экспериментирования системы*. Запроектированная сеть дорог не может быть вся целиком апробирована, проанализирована заранее в реальной действительности в связи с ее локальной закреплённостью и сложностью. Между периодом ее планирования и периодом ввода в эксплуатацию

существует значительный разрыв во времени, который должен обязательно учитываться при расчетах экономической эффективности инвестиций.

Все указанные свойства дорожной сети как планировочной системы можно сгруппировать следующим образом.

1. Свойства, характеризующие систему в целом: сложность, иерархичность элементов; географическая конкретность; локальная закреплённость, ограниченность; многообразие, разнотипность внешних связей.

2. Свойства, характеризующие развитие системы: инерционность динамизм; неравномерность развития.

3. Свойства процесса прогнозирования системы: невозможность эксперимента; большой «шаг запаздывания», разделяющий этапы прогноза и реализации решений.

Указанные свойства определяют и основные принципы планирования:

– прогноз (план) создания сети дорог района должен базироваться на эффективном развитии его производительных сил – размещении промышленности с учетом наиболее рационального использования всех природных, трудовых и материальных ресурсов, рациональной организации сельскохозяйственного производства;

– при разработке прогноза развития сети дорог следует учитывать взаимное влияние социально-экономических факторов развития и функционирования системы, таких как расселение (численность и размещение населения с точки зрения размещения мест труда и отдыха, санитарно-технических и градостроительных условий), влияние развития и размещения сферы обслуживания населения (здравоохранения, образования, бытового обслуживания, торговли, связи и пассажирского транспорта и т. д.);

– при определении объекта планирования дорожной сети следует исходить из общих понятий экономического районирования, т. е. район размещения автомобильных дорог должен, во-первых, представлять собой часть экономического района и, во-вторых, планируемая сеть должна являться фрагментом определенного ранга в единой транспортной системе;

– процесс планирования и проектирования дорожной сети должен представлять собой непрерывный во времени анализ и синтез всех особенностей и взаимосвязанных изменений в объемах и размещении природных, материально-технических и демографических ресурсов района. Частные исследования и проектировки, относящиеся к разным временным периодам, должны постоянно корректироваться, тем самым приближаясь к оптимуму;

– сеть автомобильных дорог должна планироваться на длительный срок, т. е. должен соблюдаться принцип дальности перспективы,

поскольку последствия принимаемых решений сказываются в течение длительного срока;

– при планировании развития сети автомобильных дорог следует учитывать целесообразность стадийности в реализации конструктивных решений, т. е. необходимо учитывать преимущества, связанные с потенциальными возможностями системы;

– принцип вариантности, т. е. выбор решения должен основываться на технико-экономическом сравнении возможных вариантов размещения, мощностей, потенциальных возможностей сети, резервов пропускной способности;

– технико-экономическая оценка возможных вариантов дорожной сети в составе районных планировочных систем производится на основе сравнения общей эффективности осуществления процесса транспортирования с учетом внутранспортного эффекта в соответствии с общим критерием экономической эффективности в народном хозяйстве.

Таким образом, в процессе формирования оптимизируемая дорожная сеть рассматривается как элемент сложной системы территориальной организации производительных сил, т. е. как элемент инфраструктуры региона.

*Размещение опорной сети лесных дорог.* Вопрос о размещении сети лесных дорог рассматривается в связи с тем, что в районах с уменьшающимся объемом лесозаготовок по рубкам главного пользования интенсифицируется лесное производство для сохранения и приумножения запасов древесины и других полезных лесов. Для обеспечения интенсивного развития лесного хозяйства необходимо создать развитую сеть лесных автомобильных дорог [2].

В районах с интенсивной деятельностью организаций лесного хозяйства, как правило, имеется сеть дорог общего назначения и оставшиеся после рубок главного пользования лесовозные дороги, которые могут лишь частично эксплуатироваться для нужд лесного хозяйства вследствие несовпадения грузовых направлений лесозаготовительных и лесных грузов, значительных разрушений искусственных сооружений и земляного полотна. Поэтому при проектировании сети лесных дорог необходимо учитывать существующие дороги.

В отличие от лесозаготовительного производства участки лесных массивов могут являться источниками и потребителями различных по виду и количеству грузов, которые могут свозиться в различные пункты по переработке или вывозиться из них. Последняя тенденция характеризуется развивающейся концентрацией и специализацией различных видов лесоперерабатывающих производств.

Вследствие отмеченных особенностей лесохозяйственной деятельности и существующих

требований к сети лесных дорог задача приближается по условиям к задаче проектирования сети автомобильных дорог общего назначения. Отличия заключаются лишь в том, что сеть лесных дорог – сеть дорог низких категорий, поэтому не может оказывать существенного влияния на размещение магистральных дорог общего пользования, и задачу можно сводить к проектированию дорог в лесном массиве, окантованном дорогами общего пользования и естественными границами (граница массива, берег озера, административная граница).

Различие в грузах по виду, затратам на их транспортировку, пунктам отправления и назначения характеризует задачу проектирования сети лесных дорог как многопродуктовую. В качестве целевой функции для сети лесных дорог с бесконечным сроком функционирования берутся суммарные затраты с приведением к единому моменту времени с учетом фактических сроков службы дорожной одежды [5–8], земляного полотна [9–12] и искусственных сооружений.

Для формулировки задачи введем обозначения:  $i, j$  – номера точек на сети;  $k$  – номер типа дороги;  $l$  – номер вида перевозимого груза;  $Q_{ij}$  – ресурсы  $l$ -го груза в  $i$ -й точке;  $P_{jl}$  – потребности  $j$ -й точки в  $l$ -м грузе;  $x_{ijkl}$  – объем перевозки  $l$ -го груза по дороге  $k$ -го типа между точками  $i$  и  $j$ ;  $c_{ijkl}$  – затраты на строительство дороги и на перевозку  $l$ -го груза по  $k$ -й дороге из  $i$ -й точки в  $j$ -ю.

Задача заключается в нахождении таких  $x_{ijkl}$ , чтобы сумме затрат сообщалось наименьшее значение, т. е.

$$\sum_{ijkl} c_{ijkl} \cdot x_{ijkl} \rightarrow \min, \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_{jk} x_{ijkl} = Q_{il}; \quad (2)$$

$$\sum_{ik} x_{ijkl} = P_{jl}; \quad (3)$$

$$x_{ijkl} \geq 0. \quad (4)$$

Принимается

$$c_{ijkl} = \frac{k_1}{\sum_l |x_{ijkl}|} + t_1, \text{ если } 0 < \sum_l |x_{ijkl}| < M_1;$$

$$c_{ijkl} = \frac{k_2}{\sum_l |x_{ijkl}|} + t_2, \text{ если } M_1 \leq \sum_l |x_{ijkl}| < M_2; \quad (5)$$

$$c_{ijkl} = \frac{k_3}{\sum_l |x_{ijkl}|} + t_3, \text{ если } M_2 \leq \sum_l |x_{ijkl}| < M_3,$$

где  $k_1, k_2, k_3$  – стоимость строительства 1 км дорог различных категорий;  $t_1, t_2, t_3$  – приведенные транспортные затраты на дорогах различных категорий.

Для учета существующих участков сети и дорог общего пользования стоимость строительства принимается равной 0. Дороги местного значения могут быть улучшены, если на каком-то участке концентрируется объем перевозок большой, чем экономически целесообразный для данного типа дороги.

Решение сформулированной задачи с нелинейным значением целевой функции можно осуществлять распределительным методом линейного программирования, принимая значения  $x_{ijkl}$  на отдельных этапах решения фиксированными.

После первого этапа решения по сумме всех видов грузов  $\sum x_{ijkl}$  необходимо рассчитать новое значение  $c_{ijkl}$  и повторить решение. Повторения решения с пересчитанными  $c_{ijkl}$  следует делать до тех пор, пока не получатся два совпадающих результата. Количество этапов решения зависит от транспортной освоенности района существующими дорогами. Для решения задачи может быть использована стандартная программа распределительного метода линейного программирования [13–15].

В качестве ограничений в задаче используются три основных вида перевозимых грузов – древесина, прочие полезности леса (грибы, ягоды, поездки с целью отдыха) и грузы обмена между населенными пунктами. Объем перевозимой древесины определяется по планам рубок главного и промежуточного пользования. Объем предполагаемых заготовок – по технико-экономическим показателям для проектирования сети лесных дорог. Запасы древесины определяются поквартально.

Объемы грузов обмена между населенными пунктами могут быть определены с помощью коэффициентов взаимодействия. Для расчета взаимодействия двух населенных пунктов

$$F = \frac{k \cdot N_1 \cdot N_2}{d^2}, \quad (6)$$

где  $N_1, N_2$  – численность населения пунктов;  $d$  – расстояние между ними, км;  $k$  – масштабный коэффициент.

Для учета временного фактора в модель вводится время по формуле

$$t = t_{kl} \sum_1^t \frac{1}{(1+E)^t}, \quad (7)$$

где  $t$  – планируемый период, лет;  $t_{kl}$  – затраты на перемещение одного вида груза на 1 км по дороге  $k$ -го вида;  $E$  – нормативный коэффициент эффективности инвестиций.

**Заключение.** Строительство лесных дорог во многом определяет уровень развития лесной промышленности Республики Беларусь. Основное назначение лесных дорог – обслуживать потребности лесного хозяйства, обеспечивать доступ органов управления лесным хозяйством и лесозаготовителей к конкретным участкам лесного фонда.

В настоящее время строительство дорог на территории лесного фонда осуществляется почти исключительно арендаторами участков лесного фонда за счет собственных средств предприятий, уровень этого строительства явно недостаточен для нормальной работы лесного комплекса [1, 4].

Проектирование, строительство и финансирование лесных дорог является сложной проблемой,

поэтому решать ее необходимо совместными усилиями государства и представителей бизнеса.

Не следует препятствовать появлению в ближайшем будущем частных лесных дорог лесопромышленных компаний. В заключение следует отметить, что в условиях рынка, при которых главным двигателем производства является прибыль или рентабельность, расчетные нагрузки на дороги, мосты и сами дорожные мостовые конструкции должны назначаться исходя из обеспечения рентабельности лесозаготовки и переработки древесины. Только после определения стоимости строительства дороги, сети дорог, придорожной инфраструктуры можно осознанно производить инвестиционную политику и браться за реализацию развития и совершенствования сети лесных дорог.

### Литература

1. Бавбель Е. И., Лыщик П. А. Формирование опорной сети лесотранспортных путей в условиях Республики Беларусь // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2008. Вып. 183. С. 81–89.
2. Бавбель Е. И., Лыщик П. А. Обоснование размещения лесотранспортных сетей // Известия вузов. Лесной журнал. 2009. Вып. 4. С. 82–88.
3. Bavbel J. I., Lyshchik P. A. Designing of the road network in wood of the second group // Materials, Methods and Technology. International Scientific Publications. Bulgaria: Info Invest, 2007. Vol. 1. P. 49–59.
4. Лесохозяйственные дороги. Нормы и правила устройства: ТКП 500-2016 (33090). Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2016. 91 с.
5. Обоснование структуры и состава дорожной цементогрунтовой смеси на основе математической модели // П. А. Лыщик [и др.] // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 39–43.
6. Лыщик П. А., Науменко А. И. Новые композиционные материалы для укрепления дорожных грунтов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика / ФГБОУ ВПО ВГЛТА, Воронеж, РФ. 2014. Т. 2. № 3–3 (8–3). С. 200–202.
7. Лыщик П. А., Бавбель Е. И., Науменко А. И. Состав минерального вяжущего для укрепления дорожных грунтов // Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 33–36.
8. Лыщик П. А., Науменко А. И. Механизмы структурообразования дорожных грунтов, укрепленных минеральными вяжущими // Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 42–44.
9. Дорожная конструкция из арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт», МПК С 01 С 7/32, 7/36 / П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, С. В. Красковский, А. И. Науменко; заявитель Белорус. гос. техн. ун-т. № и 20150100; заявл. 19.03.2015.
10. Композиционный цемент: патент Респ. Беларусь, МПК С 04 В 7/04, С 04 В 28/5204, С 04 В 18/12, С 04 В 718/16, С 04 В 7/52 / П. А. Лыщик, С. В. Плышевский, А. И. Науменко; заявитель Белорус. гос. техн. ун-т. № а 20121705; заявл. 06.12.12; опубл. 30.05.2015 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2015. № 4. С. 82.
11. Бавбель Е. И., Игнатенко В. В., Науменко А. И. Конструирование и методика расчета дорожных одежд из укрепленных грунтов // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 58–60.
12. Лыщик П. А., Науменко А. И., Синяк С. А. Конструкции лесных автомобильных дорог на основе арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 79–82.
13. Environmental impact assessment of wood ash utilization in forest road construction and maintenance – A field study / E Oburger [et al.] // Science of The Total Environment. 2016. P. 711–721.
14. Bohrn G, Stampfer K. Untreated Wood Ash as a Structural Stabilizing Material in Forest Roads // Croatian Journal of Forest Engineering. 2014. P. 81–89.
15. Design of forest energy supply networks using multi-objective optimization / C. Kanzian [et al.] // Biomass bioengineering. 2013. P. 294–302.

### References

1. Bavbel J. I., Lyshchik P. A. Formation of a supporting network of forest transport routes in the conditions of the Republic of Belarus. *Izvestiya Sankt-Petersburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg forestry Academy], 2008, no. 183, pp. 81–89 (In Russian).

2. Bavbel J. I., Lyshchik P. A. Justification of placement of forest transport networks. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News of universities. Forest journal], 2009, no. 4, pp. 82–88 (In Russian).
3. Bavbel J. I., Lyshchik P. A. Designing of the road network in wood of the second group. *Materials, Methods and Technology. International Scientific Publications*. Bulgaria, Info Invest Publ., 2007, vol. 1, pp. 49–59.
4. ТКР 500-2016 (33090). Wood highways. Norms and device rules. Minsk, Ministerstvo lesnogo khoz-va Resp. Belarus Publ., 2016. 91 p. (In Russian).
5. Lyshchik P. A., Ignatenko V. V., Bavbel J. I., Naumenko A. I. Rationale the structure and composition of road cementogenesis mixtures based on mathematical models. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 39–43 (In Russian).
6. Lyshchik P. A., Naumenko A. I. New composite materials for strengthening for road soils. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific researches of the XXI century: theory and practice]. Voronezh, RF, 2014, vol. 2, no. 3–3 (8–3), pp. 200–202 (In Russian).
7. Lyshchik P. A., Bavbel J. I., Naumenko A. I. The composition of mineral binder for strengthening road soils. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 33–36 (In Russian).
8. Lyshchik P. A., Naumenko A. I. Mechanisms of structure formation of road soil, fortified astringent mineral. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 42–44 (In Russian).
9. Lyshchik P. A., Bavbel J. I., Kraskovskiy S. V., Naumenko A. I. *Dorozhnaya konstruktsiya iz armaturnogo karkasa "georeshetka-tsementogrunty"* [Road design from reinforcing cage «geogrid-tsementogrunty»]. Patent BY, no. 20150100, 2015.
10. Lyshchik P. A., Plyshevskiy S. V., Naumenko A. I. *Kompozitsionnyy tsement* [Composite cement]. Patent BY, no. 20121705, 2015.
11. Bavbel J. I., Ignatenko V. V., Naumenko A. I. The design and method of calculation of pavement of reinforced soil. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 58–60 (In Russian).
12. Lyshchik P. A., Naumenko A. I., Sinyak S. A. Construction forest highways based on the reinforcement cage "Geocell-cementero". *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 79–82 (In Russian).
13. Oburger E., Jage A., Pasch A., Dellantonio A., Stampfer K., Wenzel W. W. Environmental impact assessment of wood ash utilization in forest road construction and maintenance A field study. *Science of the Total Environment*, 2016, pp. 711–721.
14. Bohrn G., Stampfer K. Untreated Wood Ash as a Structural Stabilizing Material in Forest Roads. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2014, pp. 81–89.
15. Kanzian C., Kuhmaier M., Zazgornik J., Stampfer K. Design of forest energy supply networks using multi-objective optimization. *Biomass bioengineering*, 2013, pp. 294–302.

### Информация об авторах

**Лыщик Петр Алексеевич** – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lyshchik@belstu.by

**Бавбель Евгения Ивановна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bavbel-ji@belstu.by

**Наumenko Андрей Иванович** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ig@belstu.by

### Information about the authors

**Lyshchik Petr Alekseyevich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lyshchik@belstu.by

**Bavbel Jane Ivanovna** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bavbel-ji@belstu.by

**Naumenko Andrey Ivanovich** – PhD (Engineering), Senior Lecturer, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ig@belstu.by

Поступила 15.10.2019