

УДК 630*383.4

П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, А. И. Науменко
Белорусский государственный технологический университет

**ИСПЫТАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД,
УСТРОЕННЫХ НА ОСНОВЕ АРМАТУРНОГО КАРКАСА
«ГЕОРЕШЕТКА-ЦЕМЕНТОГРУНТ»**

В настоящее время при строительстве лесных автомобильных дорог и дорог общего пользования в Республике Беларусь применяются конструкции дорожных одежд из укрепленных материалов, что позволяет повысить сроки их службы и обеспечить высокие транспортно-эксплуатационные показатели. Общеизвестным является тот факт, что ритмично и эффективно работают те предприятия лесного комплекса, которые имеют хорошую развитую сеть дорог, позволяющую проводить транспортные операции в течение всего года.

Перспективы увеличения лесосырьевых запасов и объемов заготовок древесины выдвигают необходимость существенно увеличить объемы строительства лесотранспортных путей, которые позволят предприятиям лесного комплекса обеспечить устойчивую работу. Нарращивание объемов дорожного строительства в лесу требует новых подходов к технологиям строительства дороги, а также к применяемым дорожным материалам.

В связи с этим в статье приводятся результаты испытаний разработанных конструкций дорожных одежд, которые устраиваются на основе арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт».

Ключевые слова: конструкция, дорожные одежды, георешетка, цементогрунт, прочность, надежность.

P. A. Lyshchik, J. I. Bavbel, A. I. Naumenko
Belarusian State Technological University

**TESTING OF ROAD STRUCTURES, BUILT ON THE BASIS
OF THE REINFORCEMENT FRAME “GEOGRID-CEMENTSOIL”**

Currently in the construction of forest roads and public roads in the Republic of Belarus pavement constructions from reinforced materials are used, allowing to increase the service and provide high transport and operational performance indicators. It is a recognized fact that only those forest complex enterprises that have a good developed network of roads, allowing to carry out transport operations throughout the year work smoothly and effectively.

The prospects for increasing forest stocks and rate of timber harvesting have made it necessary to significantly increase the volume of timber transport routes construction, which will allow enterprises of the forest complex to ensure stable operation. To increase the volume of road construction in the forest requires new approaches to technologies of road construction, and used road materials.

In this regard, the article presents the results of the developed road structures testing, which are arranged on the basis of the reinforcement frame “geogrid-cementsoil”.

Key words: construction, pavement, geogrid, cementsoil, durability, solidity.

Введение. На всех этапах проектирования и строительства лесных автомобильных дорог к дорожным одеждам предъявляются соответствующие требования, которые определяются нормативными документами [1, 2, 3, 4].

Дорожная одежда – это сложная система, которая воспринимает и распределяет транспортные нагрузки до уровня допустимых из условий прочности грунтов земляного полотна. Она должна быть ровной, прочной, шероховатой и работать в упругой ситуации.

Тяжелые лесотранспортные средства вызывают напряжения в дорожных одеждах в пределах 0,5–1,4 МПа, что существенно выше пределов прочности грунтов, из которых устраива-

ется земляное полотно [1, 5]. В результате эксплуатации лесных автомобильных дорог на них появляются пластичные деформации, что влечет образование ряда дефектов, таких как волны, гребенки, колеи, что в последствии ведет к разрушению дорог.

Основная часть. Увеличить срок службы лесных автомобильных дорог возможно путем уменьшения давления от транспортной нагрузки или создания усиленных конструкций дорожных одежд с учетом погодноклиматических условий района строительства [6, 7, 8].

Разнообразные природные условия при проектировании дорог учитывают с помощью дифференцированных по зонам расчетных

показателей грунтов земляного полотна. Согласно существующей схеме районирования [1, 2], территория Республики Беларусь отнесена ко II дорожно-климатической зоне. На территории республики отчетливо отмечаются признаки климатической зональности, которая обусловила различные прочностные и деформационные показатели грунтов и дорожных материалов.

К настоящему времени накоплен определенный опыт по применению местных грунтов в качестве дорожных строительных материалов. Использование местных грунтов для устройства дорожных одежд возможно только после придания им необходимых прочностных свойств. Это достигается путем укрепления их вяжущими материалами [6, 8, 9, 10, 11].

При смешивании грунта с вяжущими в смесях происходят разнообразные реакции взаимодействия с поверхностно-активными веществами, которые часто являются отходами промышленных производств. Они используются в целях торможения или интенсификации процессов взаимодействия и твердения укрепленных грунтов. Важно знать, что укрепление грунтов представляет собой весьма сложный процесс, идущий во времени и включающий в себя разнообразное взаимодействие длительно и временно действующих факторов [13, 14].

Для оценки эффективности практического использования дорожных конструкций из грунтов, укрепленных композиционными вяжущими, на лесных автомобильных дорогах был проведен ряд испытаний по определению прочностных и деформационных свойств цементогрунтов и дорожных конструкций на их основе.

В конструкции дорожной одежды использовался цементогрунт на основе суглинистого грунта, укрепленного 8%-ным композиционным вяжущим на основе портландцемента и микронаполнителей [15]. Для создания арматурного каркаса применена георешетка ячеистой конструкции марки «Белгеосот» высотой 0,1 м.

Для определения модуля упругости и силы, возникающих напряжений в теле дорожной конструкции из цементогрунта и арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» на грунтовом канале было заложено три модельных участка длиной 1,5 м, шириной 1,0 м, при этом третий участок был контрольным и представлял собой профилированное и уплотненное грунтовое покрытие.

Первый участок представлял собой конструкцию дорожной одежды из послойно уложенного и уплотненного грунта, доведенного до максимальной плотности при оптимальной

влажности (рис. 1, а). Верхний слой данного участка толщиной 0,15 м был устроен путем укрепления грунта композиционным малоцементным вяжущим [10], состоящим из портландцемента и смеси гранитоидного отсева и молотого отхода асбестоцементного производства.

Принцип закладки второго участка такой же, как и первого, причем основание дорожной конструкции состояло из арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» (рис. 1, б), полученного путем засыпки георешетки ячеистой конструкции марки «Белгеосот» цементогрунтовой смесью [7, 8]. Смесью состоит из грунта, укрепленного композиционным малоцементным вяжущим, состоящим из портландцемента и смеси гранитоидного отсева и молотого отхода асбестоцементного производства.

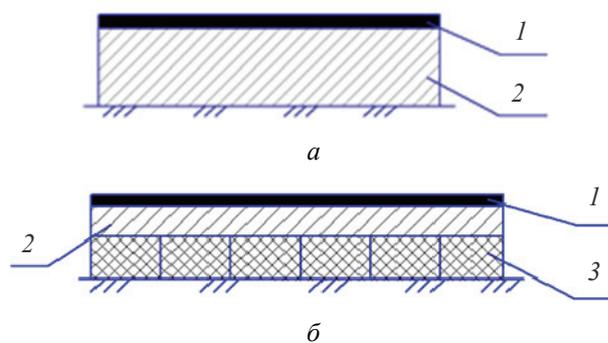


Рис. 1. Модели дорожных конструкций:
а – из цементогрунта; б – из арматурного каркаса:
1 – слой износа; 2 – покрытие из цементогрунта;
3 – арматурный каркас «георешетка-цементогрунт»

Третий участок без укрепления представлял собой грунт уплотнений послойно при оптимальной влажности с коэффициентом уплотнения 0,98.

Исследования включали два этапа и были проведены по методикам, изложенным в работах [10, 12], с использованием современного оборудования и приборов.

В процессе выполнения испытаний конструкций дорожных одежд выполнялось:

- 1) определение давления подвижного колеса на покрытие;
- 2) измерение максимальных вертикальных сжимающих напряжений в различных зонах тела конструкции при проходе экспериментальной тележки;
- 3) измерение глубины образующейся колеи.

Напряжения, возникающие в теле конструкции по глубине, измерялись мессдозами Баранова, предварительно протарированными перед началом проведения испытаний. Закладка мессдоз проводилась по центру спаренных колес и по центру одного колеса на различных глубинах.

На рис. 2 представлены модельные участки заложенных конструкций дорожных одежд в грунтовом канале.



Рис. 2. Модельные участки дорожных конструкций в грунтовом канале:
1 – дорожная конструкция из цементогрунта;
2 – дорожная конструкция из арматурного каркаса

Величины напряжений, возникающие по глубине, регистрировалась с частотой 5 изм./с и записывались при помощи измерительной аппаратуры в составе восьмиканального многофункционального измерительного усилителя Spider-8 и после каждого прохода сохранялись в базе данных персонального компьютера для дальнейшей обработки.

Для регистрации и обработки получаемых данных применялся пакет программного обеспечения «Catman express-3.12», прошедшего предварительную настройку для данного типа измерений.

Нагрузка, передаваемая от спаренных колес экспериментальной тележки на поверхность модельных участков, составляла 33,7 кН, давление воздуха в шинах – 0,4 МПа, число проходов по одному следу – 40.

Схема закладки мессдоз Баранова в теле конструкции дорожной одежды по глубине представлена на рис. 3.

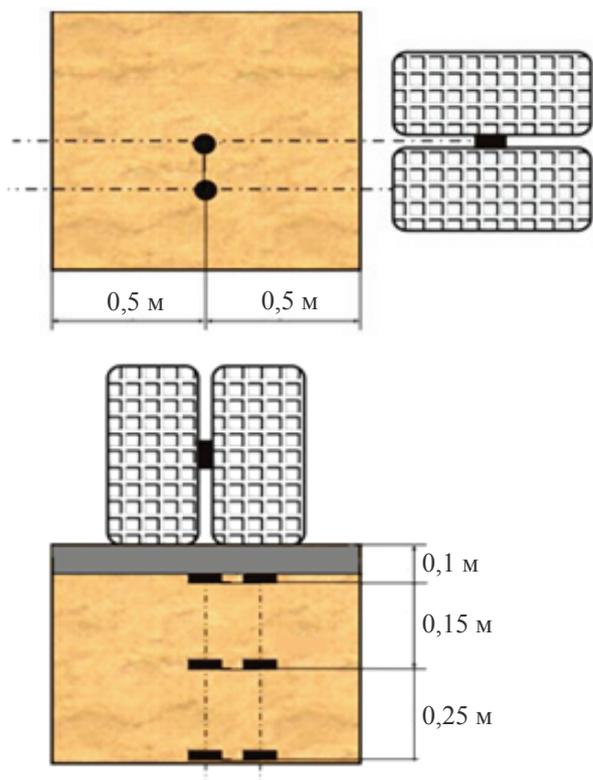


Рис. 3. Схема закладки мессдоз

В ходе проведения испытаний были получены данные по напряжениям, возникающим в теле конструкции (рис. 4).

Испытания показали, что на участке с конструкцией дорожной одежды из цементогрунта модуль упругости (108 МПа) выше модуля упругости грунтового покрытия (65 МПа) в 1,6 раза, а на участке с дорожной конструкцией из арматурного каркаса модуль упругости (214 МПа) выше модуля упругости грунтового покрытия в 3,3 раза.

Как видно из полученных зависимостей (рис. 4), наибольшие напряжения возникают на контрольном участке, где укрепление грунта не проводилось. Это свидетельствует о недостаточной несущей способности местного грунта, доведенного до максимальной плотности, и, как следствие, недостаточной прочности всей дорожной конструкции в целом.

В ходе испытаний после определенного числа проходов тележки измерялась глубина колеи, фиксировался характер образования остаточной деформации. На участках с разработанными конструкциями дорожных одежд глубина колеи составила доли миллиметров, т. е. при 40 проходах тележки образования колеи практически не происходило.

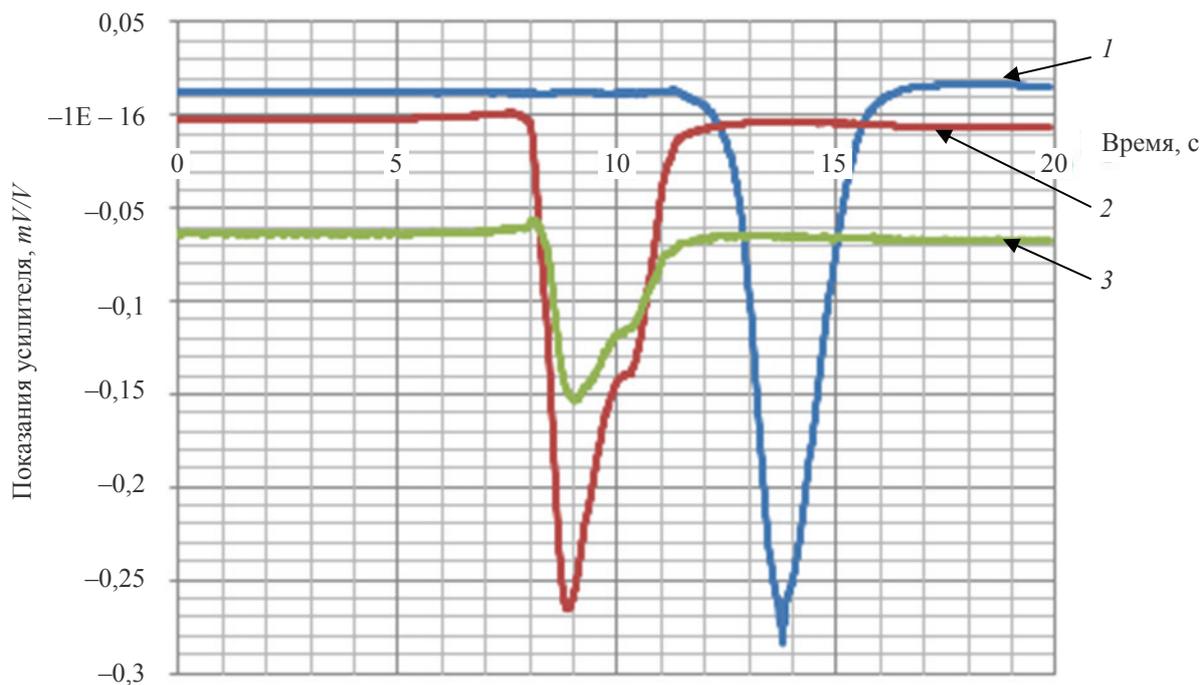


Рис. 4. Напряжения, возникающие в теле конструкции при проходе экспериментальной тележки:
 1 – контрольный участок; 2 – участок конструкции из цементогрунта;
 3 – участок конструкции из арматурного каркаса

На участке с грунтовым покрытием наиболее интенсивно колея образовывалась при первых 17 проходах, стабилизировалась после 23 проходов, в конечном итоге ее глубина составила 3,7 см.

Заключение. Таким образом, результаты лабораторных испытаний разработанных конструкций дорожных одежд на основе цементогрунта и арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» показали хорошую работу под колесной нагрузкой.

На основании полученных прочностных показателей можно сделать вывод, что разработанные дорожные конструкции из цементогрунта и арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» обладают повышенной долговечностью и надежностью за счет обеспечения максимального использования прочности арматурного каркаса и могут быть применены на лесных автомобильных дорогах для различных природно-производственных условий эксплуатации.

Литература

1. Oburger E., Jager 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. Vol. 544. P. 711–721.
2. Bohrn G., Stampfer K. Untreated Wood Ash as a Structural Stabilizing Material in Forest Roads // Croatian Journal of Forest Engineering. 2014. Vol. 35 (1). P. 81–89.
3. Дорожные одежды с основаниями из укрепленных материалов / Ю. М. Васильев [и др.]. М.: Транспорт, 1989. 191 с.
4. Насковец М. Т., Севрук С. А. Применение современного измерительного оборудования при проведении лабораторных исследований работы дорожных конструкций // Автомобильные дороги и мосты. 2007. № 1. С. 72–75.
5. 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.
6. Дорожная конструкция из арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт»: патент Респ. Беларусь на полезную модель, МПК Е 01 С 7/00 / П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, С. В. Красковский, А. И. Науменко; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. № и 20150100; заявл. 19.03.2015; опубл. 30.10.2016. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2016. № 5. С. 143–144.
7. 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. технол. ун-т. № а 20121705; заявл. 06.12.12; опубл. 30.05.2015 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2015. № 4. С. 82.

8. Лышик П. А., Науменко А. И., Синяк С. А. Конструкции лесных автомобильных дорог на основе арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 79–82.

9. Лышик П. А., Бавбель Е. И., Науменко А. И. Состав минерального вяжущего для укрепления дорожных грунтов // Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 33–36.

10. Kanzian C., Kuhmaier M., Zazgornik J., Stampfer K. Design of forest energy supply networks using multi-objective optimization // *Biomass bioengineering*. 2013. Vol. 58. P. 294–302.

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 деревообработ. пром-сть. С. 58–60.

12. Лышик П. А., Науменко А. И. Механизмы структурообразования дорожных грунтов, укрепленных минеральными вяжущими // Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 42–44.

13. Лышик П. А., Бавбель Е. И. Проблема развития транспортной инфраструктуры лесопользователей // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 62–64.

14. Обоснование структуры и состава дорожной цементогрунтовой смеси на основе математической модели / Лышик П. А. [и др.] // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 39–43.

15. ТКП 500-2013 (33090). Лесные автомобильные дороги. Нормы и правила устройства. Минск: М-во лесн. хоз-ва Респ. Беларусь, 2013. 91 с.

References

1. Oburger E., Jager 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, vol. 544, pp. 711–721.

2. Bohrn G., Stampfer K. Untreated Wood Ash as a Structural Stabilizing Material in Forest Roads. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2014, vol. 35 (1), pp. 81–89.

3. Vasil'ev Ju. M., Sall' A. O., Agafontseva V. P., Isaev V. S. *Dorozhnye odezhdy s osnovanijami iz ukreplennykh materialov* [Road clothes with the bases from the strengthened materials]. Moscow, Transport Publ., 1989. 191 p.

4. Naskovets M. T., Sevruk S. A. Application of the modern measuring equipment at carrying out of laboratory researches of work of road designs. *Avtomobil'nye dorogi i mosty* [Roads and bridges], 2007, no. 1, pp. 72–75 (In Russian).

5. Lyshchik P. A., Naumenko A. I. New composite materials for strengthening for road soils. *Aktual'nye napravlenija nauchnykh issledovanij XXI veka: teorija 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).

6. Lyshchik P. A., Bavbel J. I., Kraskovskiy S. V., Naumenko A. I. *Dorozhnaya konstruktsiya iz armaturnogo karkasa «georeshetka-tsementogrunnt»* [Road design from reinforcing cage «geogrid-tsementogrunnt»]. МПК E 01 C 7/00, no. u 20150100, 2016.

7. Lyshchik P. A., Plyshevskiy S. V., Naumenko A. I. *Kompozitsionnyy tsement* [Composite cement]. Patent Resp. Belarus' МПК C 04 B 7/04, C 04 B 28/5204, C 04 B 18/12, C 04 B 718/16, C 04 B 7/52/, no. a 20121705, 2015.

8. Lyshchik P. A., Naumenko A. I., Synyak S. A. Construction forest highways based on the reinforcement cage “Geogrid-cementsoil”. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 79–82 (In Russian).

9. 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).

10. Kanzian C., Kuhmaier M., Zazgornik J., Stampfer K. Design of forest energy supply networks using multi-objective optimization. *Biomass bioengineering*, 2013, vol. 58, pp. 294–302.

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. 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).

13. Lyshchik P. A., Bavbel J. I. The problem of development of transport infrastructure of forest users. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 62–64 (In Russian).

14. 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).

15. ТКР 500-2016 (33090). Wood highways. Norms and device rules. Minsk, Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, 2016. 91 p. (In Russian).

Информация об авторах

Лыщик Петр Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры лесных дорог и организации вывозки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tl@belstu.by

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

Науменко Андрей Иванович – кандидат технических наук, ассистент кафедры лесных дорог и организации вывозки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: naumenko@belstu.by

Information about the authors

Lyshchik Petr Alekseevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of Forest Roads and Timber Transportation. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tl@belstu.by

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

Naumenko Andrey Ivanovich – PhD (Engineering), Assistant of the Department of Forest Roads and Timber Transportation. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: naumenko@belstu.by

Поступила 26.10.2016