

УДК 694.143

АНАЛИЗ РАЦИОНАЛЬНОГО ОЧЕРТАНИЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ АРОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

А.И. Згировский, С.М. Коледа

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь

e-mail: aleksander52@tut.by

В данной статье произведен сравнительный анализ очертаний большепролетных арочных конструкций из клееной древесины с учетом напряженно-деформированного состояния, стоимости строительно-монтажных работ и расходов на транспортировку конструкций. Представлены результаты сравнения арочных конструкций различного очертания запроектированного склада для хранения калийных удобрений. За счет использования рационального очертания арок можно снизить расход древесины и стоимость арочных конструкций.

Ключевые слова: клееная древесина, большепролетные арки, проектирование, склад удобрений, рациональное очертание арок, снижение стоимости

ANALYSIS OF THE RATIONAL DESIGN OF LARGE-SPAN ARCH COVERINGS

A. Zgirovsky, S. Coleda

Belarusian National Technical University, Republic of Belarus

e-mail: aleksander52@tut.by

This article provides a comparative analysis of the outlines of large-span arched structures made of glued timber, taking into account the stress-strain state, the cost of construction and installation work and the cost of transportation of structures. The results of comparing arched structures of various shapes of the designed warehouse for storing potash fertilizers are presented. Through the use of a rational outline of arches, wood consumption and the cost of arched structures can be reduced.

Keywords: glued timber, wide-span arches, design, fertilizer warehouse, rational outline of arches, cost reduction

Для Республики Беларусь одним из основных источников валютных поступлений остается экспорт калийных удобрений. В последние годы прослеживается динамика роста цен на калийные удобрения, как и роста на их предложение. Если рассматривать наращивание мощностей в области производства калийных удобрений на перспективу на территории СНГ следует иметь в виду залежи Гремячинского, Непского и Эльтонского (Российская Федерация), Гарлыкского (Туркменистан) и других месторождений. Производство калийных удобрений в Республике Беларусь находится примерно на уровне 10 млн. т в год. Такой объем хлорида калия обеспечивает в основном ОАО «Беларуськалий». Планируется увеличить объем производства калийных удобре-

ний в Республике Беларусь за счет возведения Петриковского горно-обогатительного комбината и Нежинского горно-обогатительного комбината в Любанском районе Минской области. Следует отметить, что Петриковский ГОК является самым масштабным инвестиционным проектом ОАО «Беларуськалий». Проект предполагает строительство рудника и сильвинитовой обогатительно фабрики. Сдача в эксплуатацию первой очереди комбината предполагается в конце 2019 года. Планируется, что к 2025 году мощность Петриковского ГОК вырастет до 3 млн. в год. Мощность Нежинского предприятия по добыче калийной руды и по производству калийных удобрений немного меньше и составит 2 млн. в год. Возведение высокотехнологического объекта осуществляет ИООО «Славкалий» с участием китайской генподрядной компании «China State Energy Engineering Corp.Ltd».

Для хранения калийных удобрений традиционно используют большепролетные клееные деревянные арки двух типов по форме очертания: стрельчатые трехшарнирные и треугольные. Пролет складов для хранения солей обычно составляет от 18 м до 45 м. На Солигорских горно-обогатительных комбинатах, а также в Березниках, Соликамске, традиционно используются арки стрельчатого очертания пролетом 45 м. Арки стрельчатого очертания пролетом 45 м образуются из двух полуарок длиной около 34 м. В последнее время широко применяются также арки треугольного очертания (Красносельское РУ, Петриковский ГОК, Гарлык ГОК) пролетом 45 м, которые образуются из двух прямолинейных балок длиной по 30 м. В последнее время наблюдается тенденция к увеличению пролета складов для хранения калийных удобрений. Это связано с современными требованиями по условиям хранения и технологии складов калийных удобрений.

Однако применения большепролетных арок не всегда возможно, что объясняется трудностью их изготовления и транспортировки. Клееные арки являются конструкциями заводского изготовления, и многое зависит от технологических возможностей для склеивания длинномерных изделий, т.е. от длины прессы. Чем длиннее пресс, тем более гибким будет технологический процесс на этом производственном участке. Кроме того, на современных прессах, возможно, выполнить склеивание изделий различного очертания и конфигурации. Большинство прессов, используемых для склеивания большепролетных конструкций, имеют длину в пределах 18-30 м, пресса длиной более 30 м встречаются реже. Например, стапель ЗАО «Солигорского института проблем ресурсосбережения с опытным производством» в г. Солигорске позволяет склеивать деревянные конструкции длиной до 38 м.

В зависимости от назначения сооружения, технологических процессов и архитектурных требований, арки проектируют различного очертаний по форме оси. Диапазон очертаний арок довольно широк. Наиболее распространенными являются арки кругового очертания и стрельчатые арки, треугольного очертания из прямолинейных элементов. Встречаются арки эллиптического, параболического и гиперболического очертаний, а также арки из криволинейных элементов, арки ломаного очертания и арки из двух элементов различных радиусов. Арки разделяют по статической схеме на трехшарнирные и двухшарнирные.

При проектировании возникает вопрос о рациональном очертании арочных конструкций. Арки являются одним из наиболее эффективных типов несущих конструкций, как с экономической, так и с эстетической точки зрения. Клеодощатые арки в большинстве случаев проектируют прямоугольного постоянного сечения по длине пролёта, независимо от формы её очертания. Стрельчатые клеодощатые арки более трудоемкие в изготовлении по сравнению с арками треугольного очертания из прямолинейных элементов.

Рациональное очертание арки, когда кривая давления от внешней нагрузки совпадает с её осью. К рациональному очертанию можно приблизиться только при постоянной нагрузке. При равномерно-распределённой нагрузке рациональная дуга арки имеет параболическое очертание. На практике такие ситуации не встречаются. Обычно приходится учитывать совокупность различных по характеру нагрузок [2-5, 8].

Треугольные арки, образованные из двух прямолинейных балочных элементов, наиболее просты и экономичны по сравнению с арками стрельчатого очертания. Обычно арки треугольного очертания выполняются с расцентровкой в опорном и карнизном узлах, что позволяет уменьшить пролетный изгибающий момент от вертикальных нагрузок. Соответственно размеры поперечного сечения балочных элементов получаются минимальными за счет обратного момента от эксцентриситета продольных сил. Однако такой способ возможен только при наличии равномерно распределенной нагрузки. При наличии дополнительных сосредоточенных нагрузок, например, от тельферов, подвесок, галерей, которыми оборудованы склады минеральных удобрений, эффект от расцентровки не проявляется.

В последних разработках арочных покрытий, например, в складах готового продукта Гремячинского ГОК, применили полуарки в двухпролетном здании шатрового типа (рисунок 1).



Рисунок 1. – Общий вид склада готового продукта Гремячинского ГОК

Ширина этого склада составляет 100 м, два пролета по 50 м. Основные несущие конструкции – двухшарнирные гнутоклееные полуарки с шагом 6 метров с опорами на разных уровнях. Применение таких полуарок принято в первую очередь в зависимости от назначения сооружения для складирования продукции. Изготовить и транспортировать такие длинномерные полуарки весьма проблематично, поэтому полуарки расчленили на три отправочных элемента заводского изготовления, а уже на строительной площадке объединили в единый элемент на сварке при помощи вклеенных стержней [6, 7]. Полуарка состоит из трех частей: нижней опорной криволинейной зоны, среднего прямолинейного участка, верхней криволинейной зоны. Однако очертание такой полуарки не является рациональным. Скорее всего, подобное очертание вызвано как условиями технологии складирования продукта, транспортировки клееных деревянных элементов, так и возможностью изготовления (ограничение возможности стапеля для склеивания деревянных изделий).

В республике Беларусь в Любанском районе для Нежинского ГОК под склад готовой продукции запроектировано однопролетное здание шатрового типа (рисунок 2). Основные несущие конструкции – трехшарнирные гнутоклееные арки пролетом 72 м с опорами в одном уровне. Высота склада в коньке около 30 м. При изготовлении таких арок предполагается собирать полуарки из двух элементов с устройством одного жесткого стыка на вклеенных стержнях. Полуарка состоит из двух частей: нижней опорной криволинейной зоны и верхнего клюшкообразного участка. По конфигурации полуарки как склада готового продукта Гремячинского ГОК, так и склада Нежинского ГОК также имеют средний прямолинейный участок. В обоих случаях склады оборудованы полуportальными кратцер-кранами. В обоих складах имеется центральная подпорная стена, на которую опираются кратцер-краны. На складе Гремячинского ГОК подпорная стена кроме того является опорой для двухшарнирных полуарок. На складе Нежинского ГОК подпорная стена служит только опорой для кратцер-кранов и нагрузка от покрытия на неё не передается.

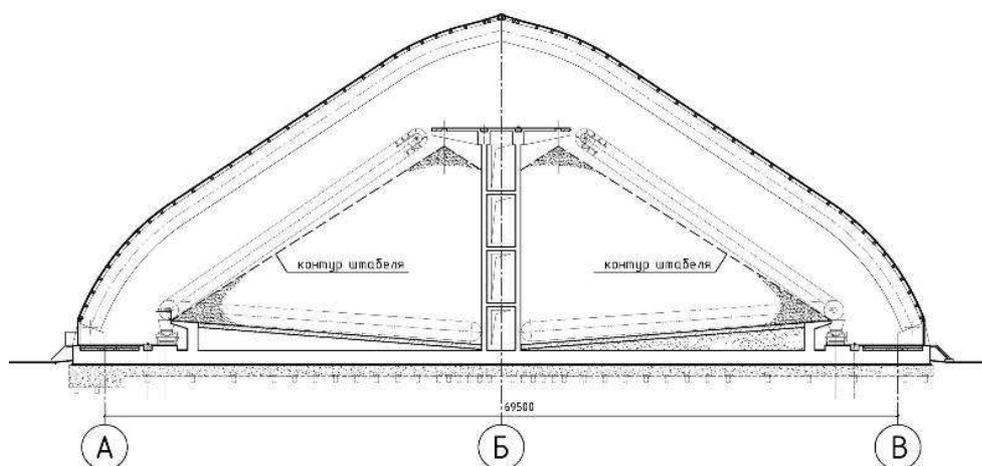


Рисунок 2. – Разрез склада готовой продукции Нежинского ГОК без кратцер-крана

При строительстве таких масштабных инвестиционных проектов необходимо уделять пристальное внимание рациональной форме арочных конструкций.

Анализ арок различного очертания проведем на примере арок покрытия запроектированного склада Нежинского ГОК. Всего рассматривалось 4 типа арок:

- 1) базовый – с центральным прямолинейным участком (рисунки 2 и 3);
- 2) с нижним криволинейным участком на высоту 1/3 от высоты арки и прямолинейным участком от изгиба до конька (рисунок 4);
- 3) полуарки, образованные сопрягающимися радиусами 20,9 м и 65,9 м (рисунок 5);
- 4) арки, составленные из двух полуарок кругового очертания с постоянным радиусом 50,9 м (рисунок 6).

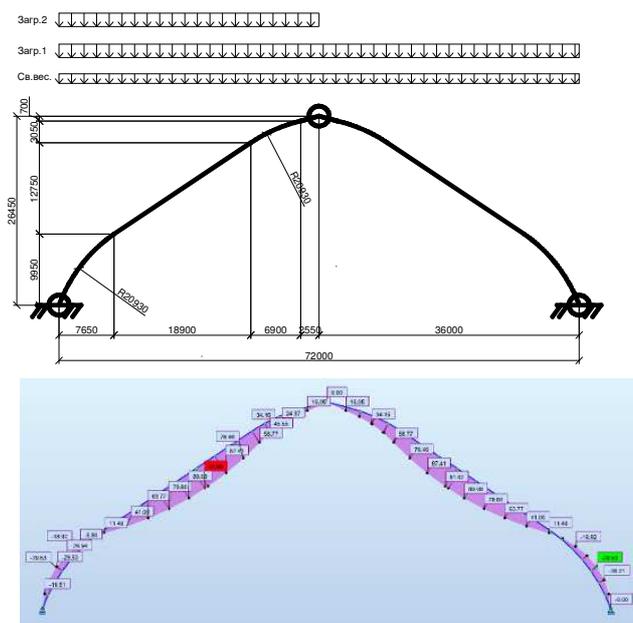


Рисунок 3. – Арка тип 1 – центральный прямолинейный участок

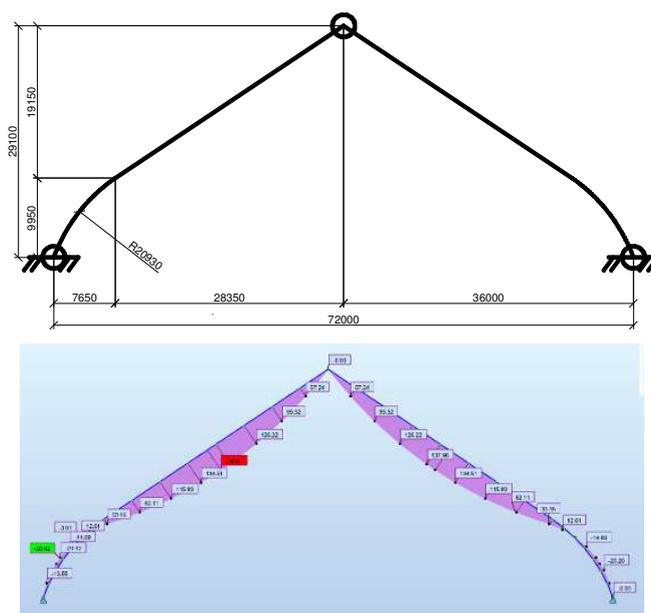


Рисунок 4. – Арка тип 2 – нижний гнутый карниз и прямолинейный до конька

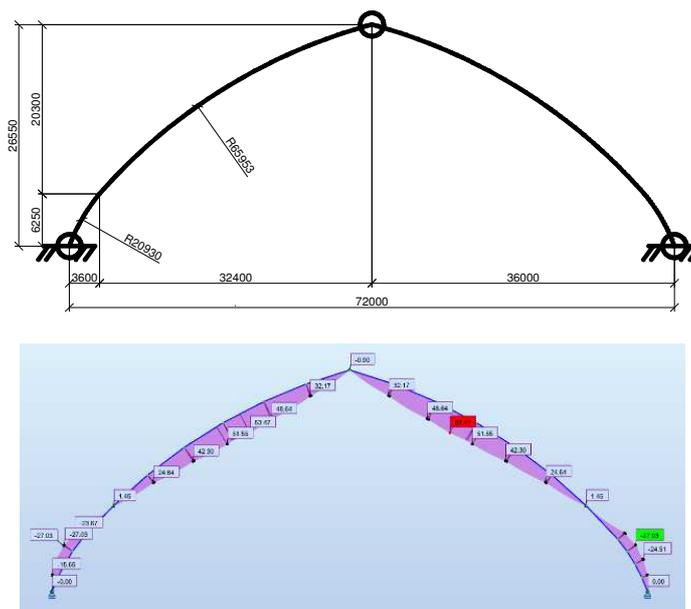


Рисунок 5. – Арка тип 3 – арки имеют участки с различными радиусами

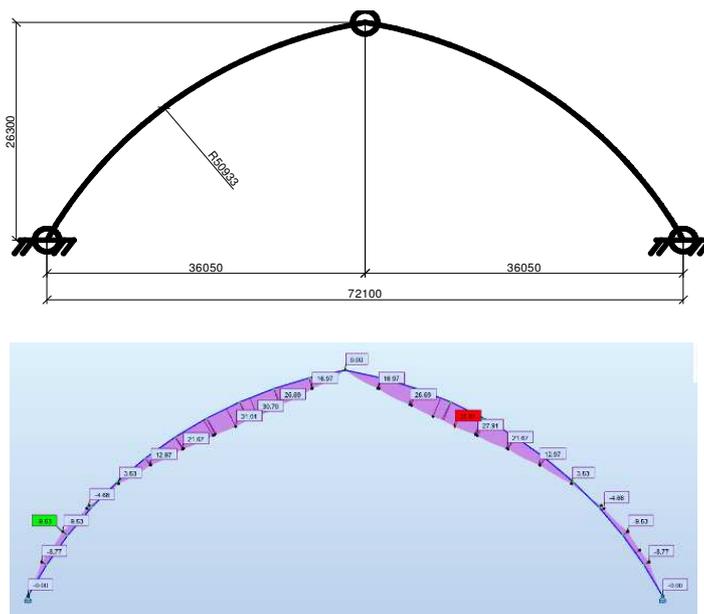


Рисунок 6. – Арка тип 4 – арки, составленные из двух полуарок рогового очертания с постоянным радиусом 50,9 м

Координаты опорных шарниров и конька во всех случаях оставались постоянными. Все арки описывали (закрывали) контур рабочей зоны кратцер-крана. Для предварительной оценки конструктивных схем численные расчеты выполнялись в линейной постановке от единичной равномерно распределенной нагрузки. Конечно, такой подход учитывает не весь спектр возможных нагрузок, которые может воспринимать конструкция, поэтому существует необходимость дальнейшего изучения этой проблемы.

Представленные расчеты показывают, что из рассмотренных типов арок наиболее оптимальным будет вариант для полуарок кругового очертания (см. рисунок 6). Анализируя данные, приведенные в таблице 1 можно видеть, что если продольная сила в целом изменяется незначительно, то существенное изменение изгибающего момента, приводит к увеличению поперечного сечения арок, и к расходу дорогостоящей клееной древесины, и соответственно к увеличению стоимости.

Таблица 1 – Сравнение результатов численных исследований

№	Тип арки	M, кНм	N, кН	σ , МПа	Сечение, см	Площадь, см ²	Отношение
1	Тип 1	1085	422	12,29	20x180	3600	1,63
2	Тип 2	1635	408	12,65	20x210	4200	1,9
3	Тип3	633	384	12,29	20x140	2800	1.27
4	Тип 4	365	388	12,35	20x110	2200	1

Анализ предварительных расчетов показал, что только за счет использования рационального очертания арок, можно снизить расход древесины и соответственно стоимость арочных конструкций на 30-40%.

Рассматривая реальные расходы на стоимость деревянных арок при строительстве складов калийных удобрений, установлено, что в общей стоимости СМР на арочные деревянные конструкции приходится до 80% от всей стоимости складских сооружений, а на железобетонные стены и фундаменты приходится порядка 20%. Таким образом, возможно существенное снижение стоимости при возведении складских сооружений, исключительно за счет снижения расходов на арочные конструкции, что достигается за счет проектирования рационального очертания арок.

Дополнительного снижения нагрузок на арки (до 20%), уменьшения продольной силы, изгибающего момента, а в конечном итоге к снижению расхода дорогостоящей клееной древесины, возможно за счет отказа двойного перекрестного деревянного настила путем перехода на светопрозрачные полимерные настилы.

Учитывая существенные расходы на транспортировку арочных конструкций от места изготовления до монтажа (логистика, объездные дороги, сопровождение ГАИ, погрузо-разгрузочные работы и т.д.), необходимо рассмотреть возможность изготовления длиномерных арочных конструкций непосредственно в зоне монтажа арочных конструкций. В этом случае можно отказаться от дорогостоящих монтажных стыков на клееных стержнях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Деревянные конструкции. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-5.05-146-2009 (02250). – Мн.: 2010 – 63 с.
2. Згировский, А.И., Коледа, С.М. О некоторых особенностях проектирования большепролетных арочных деревянных конструкций // Проблемы современного строительства: Материалы Международной научно-технической конференции. – Мн.: 2019. – С. 66-73.
3. Калугин, А.В. Деревянные конструкции. Учебное пособие. – М.: Изд. АСВ, 2008. – 288 с.

4. Кормаков, Л. И., Валентиавичюс, А.Ю. Проектирование клееных деревянных конструкций / Л.И.Кормаков, А.Ю. Валентиавичюс. – К.: Будивельник, 1983. – 152 с.
5. Серов, Е.Н., Санников, Ю.Д., Серов, А.Е. Проектирование деревянных конструкций / Е.Н.Серов, Ю.Д. Санников, А.Е. Серов. – М.: Издательство АСВ, 2011. – 536 с.
6. Турковский, С.Б., Погорельцев, А.А., Преображенская, И.П. Клееные деревянные конструкции с узлами на вклеенных стержнях в современном строительстве (система ЦНИИСК). – М.: РИФ «Стройматериалы», 2013. – 308 с.
7. Турковский, С.Б., Саяпин, В.В. Исследование монтажных узловых соединений клеёных деревянных конструкций // Несущие деревянные конструкции: Сборник научных трудов / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М., 1981. – С. 92-105.
8. Щербина, В.А., Артебякина, Г.И., Мамутов, Ф.А. Рациональная форма лёгких арочных конструкций // Молодой ученый. – 2016. – №26. – С. 101-105.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2020

1 – дополнительный экран – сведения об издании

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:

Л. М. Парфенова (председатель),
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,
Н. В. Давыденко, Р. М. Платонова

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ
[Электронный ресурс] : электронный сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-701-3.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

№ госрегистрации 3671815379.

ISBN 978-985-531-701-3

@Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Технический редактор *Т. А. Дарьянова.*

Компьютерная верстка *Т. А. Дарьяновой.*

Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой.*

Подписано к использованию 09.09.2020.

Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>