

УДК 628.165

## ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ТИПА МЕМБРАН ПРИ ОБЕССОЛИВАНИИ ВОДЫ ОБРАТНЫМ ОСМОСОМ

*В.Д. Ющенко, Е.В. Лесович, В.В. Жуковский*

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

e-mail: v.yushchanka@psu.by, e.lesovich@psu.by, v.v.zhukovskiy@students.psu.by

*В статье приводятся сведения по применению метода обратного осмоса для обессоливания воды. Предложена методика определения эффективности работы отдельных обратноосмотических мембран: Мембраниум» марка КС8040 С2, Hydranautics CPA3-8040 и Toray TM720-430. Путем сравнения основных технических характеристик представленных мембран, а также результатов, полученных в ходе проведения экспериментальных исследований на модельной установке, установлено, что обратноосмотическая мембрана «Мембраниум КС8040-С2» при относительно равных технических характеристиках и относительно мембран других производителей имеет лучшую стойкость к отложениям загрязнению органическими веществами и отличается более низкой стоимостью.*

**Ключевые слова:** обратный осмос, обратноосмотические полупроницаемые мембраны, отложение, накипеобразование.

## FEATURES CHOICE OF TYPE OF MEMBRANES IN THE DESALINATION OF WATER BY REVERSE OSMOSIS

*V. Yushchanka, E. Lesovich, V. Zhukovsky*

Polotsk State University, Republic of Belarus

e-mail: v.yushchanka@psu.by, e.lesovich@psu.by, v.v.zhukovskiy@students.psu.by

*The article provides information on the use of reverse osmosis method for desalting water. The method of determining the efficiency of individual reverse osmosis membranes: "Membranium" brand KS8040 C2, Hydranautics CPA3-8040 and Toray TM720-430. By comparing the main technical characteristics of the presented membranes, and the results obtained during the experimental studies for model setup, established that membrane "Membranium KS8040-C2" in relatively equal technical characteristics and relatively membranes from other manufacturers has the best resistance to sediment contamination with organic substances and has lower cost.*

**Keywords:** reverse osmosis, reverse osmosis semipermeable membranes, fouling, scaling.

**Введение.** Полоцкий промышленный узел является одним из крупных производственных комплексов в Республике Беларусь, в состав которого входят градообразующие предприятия, такие как нефтеперерабатывающий завод «Нафтан», нефтехимический завод «Полимир», завод «Стекловолокно», а также Новополоцкая ТЭЦ.

Главным источником воды в промышленности служат природные пресные воды.

Системы промышленного водоснабжения предназначены обеспечивать подачу воды на производство требуемого и соответствующего качества. Они состоят из комплекса взаимосвязанных сооружений, водозаборных устройств, насосных станций, водоводов, установок очистки и улучшения подпиточной и оборотной воды, регулирующих и запасных емкостей, охладителей воды и разводящей сети трубопроводов.

Промышленная водоподготовка теплоэнергетического производства представляет собой комплекс мероприятий и технологических процессов получения воды требуемого качества. Основные методы водоподготовки: 1) обеззараживание воды — обязательный процесс очистки с целью уничтожения болезнетворных микроорганизмов и окисления органических примесей; 2) отстаивание — удаление из воды грубодисперсных взвешенных примесей, оседающих на дно непрерывно действующих отстойных бетонированных резервуаров; 3) фильтрование — важный метод очистки воды, для этого применяются фильтры с зернистым фильтрующим слоем; 4) умягчение и обессоливание — основные процессы водоподготовки; 5) дегазация воды — удаление из нее растворимых газов — проводится химическими и физическими способами [1].

Все данные предприятия используют воду, не только очищенную от взвешенных веществ и микроэлементов, но и в высокой степени обессоленную.

Чаще всего обессоленная вода применяется для получения насыщенного перегретого пара в котлах высокого давления при дальнейшем его направлении для технологических процессов ряда производств, а также в системах отопления и ГВС.

**Основная часть.** В настоящее время широкое распространение получили мембранные методы обессоливания воды. По сравнению с традиционными методами они имеют технологические и экономические преимущества, а также экологически безопасны.

Так, интерес к использованию обратного осмоса при подготовке обессоленной воды для паровых котлов вызван тем, что его внедрение позволяет значительно (на 90 %) сократить количество потребляемых реагентов (кислот, щелочей, хлорида натрия) и одновременно избавиться от проблем, связанных с утилизацией сточных вод с высоким содержанием химических веществ.

Помимо ионов солей, современные обратноосмотические мембраны задерживают силикаты и молекулы органических веществ, что делает обратный осмос чрезвычайно перспективным для энергетики. Кроме систем глубокого обессоливания воды, установки обратного осмоса успешно применяются для подготовки подпиточной воды паровых котлов [2].

Например, котел БЭМ 25/4 – 440 ГМ производства ОАО «Белэнергомаш» требует, кроме уменьшения жесткости, понижения общей минерализации питательной воды. В этих случаях обратноосмотические мембранные установки для деминерализации, пожалуй, единственная подходящая технология. Благодаря невысокой стоимости, компактности, простоте обслуживания, полной автоматизации обратноосмотические системы оказываются оптимальным вариантом для подготовки воды автономных котельных и районных тепловых станций (РТС). Повышаются технические показатели, что вызывает рост требований к качеству подпиточной воды [3]. Основные показатели качества исходной воды до обработки приведены в таблице 1.

**Методика проведения исследований.** В данной работе рассмотрен выбор типа мембран для блока обратного осмоса при подготовке воды для паровых установок ТЭЦ, в условиях получения пересыщенного пара большого давления.

Контрольным параметром принята удельная электропроводность пермеата, равная 1мкСм/см.

С целью установления эффективности работы отдельных обратноосмотических мембран проведены экспериментальные исследования на модельной установке, которая представляет собой три блока, состоящих из мембранных корпусов, соединенных между собой и смонтированных на одной раме.

Таблица 1. – Качество исходной воды перед предварительного осветления и обесцвечивания

№ п/п	Наименование показателей	Лето середин а/конец	Осень	Зима	Весеннее половодье
1	Температура, °С	23,8/15,1	5,6	6,0	7,1
2	Запах при 20°С и 60°С (балл)	0	0	0	0
3	Водородный показатель (ед. рН)	8,03/8,29	8,1	7,96	8,09
4	Взвешенные вещества (мг/дм <sup>3</sup> )	0,8/6,6	1,4	7,4	3,6
5	Мутность (мг/дм <sup>3</sup> )	3,7/10,2	3,7	3,9	3,2
6	Цветность (градус)	17,0/16,0	13	21	26
7	БПК <sub>5</sub> (мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> )	3,95/3,91	2,82	2,17	3,34
8	ХПК (мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> )	17,4/22,33	24,36	22,48	28,1
9	Жесткость общая (мг-экв/дм <sup>3</sup> )	4,34/4,39	4,47	4,61	4,02
10	Жесткость карбонатная (мг-экв/дм <sup>3</sup> )	3,62/3,69	3,84	3,87	3,4
11	Сухой остаток (мг/дм <sup>3</sup> )	257/279	244	277	269
12	Аммоний (мг/дм <sup>3</sup> )	0,1/0,04	0,07	0,3	0,2

Через испытательную установку блока обратного осмоса, состоящего из трех мембранных корпусов, загруженных мембранами разных производителей, пропускаем предварительно очищенную воду с расходом 21 м<sup>3</sup>/ч (7 м<sup>3</sup>/ч на каждый мембранный корпус).

В первый блок были загружены обратноосмотические мембраны фирмы «Мембраниум» марка КС8040 С2. Это единственная российская компания среди мировых производителей мембранной продукции, изготавливающая наноструктурированное мембранное полотно и рулонные мембранные элементы для обратного осмоса.

В мембранный корпус среднего блока установлены обратноосмотические спирально-навитые мембраны марки СРАЗ-8040 фирмы «Hydranautics» (США, Япония), которая производит широкую линейку мембранных продуктов и услуг в данной отрасли.

В третий мембранный корпус были загружены обратноосмотические мембраны марки ТМ720-430 фирмы «Тогау». Данная японская компания также производит ультра-

фильтрационные мембраны, модули мембранных биореакторов (МБР) погружного типа, а также реагенты для обратноосмотических систем.

Основные технические характеристики, а также стоимость данных мембран, указанные в каталогах производителя, представлены в таблице 2 [4].

Таблица 2. – Технические характеристики мембран

Основные технические характеристики	Производитель/марка		
	Мембраниум / КС8040 С2	Hydranautics / СРА3-8040	Toray / ТМ720-430
Максимальное рабочее давление	4,1 МПа	4,1 МПа	4,1 МПа
Максимальный перепад давления	0,3 МПа	0,3 МПа	0,3 МПа
Рабочая температура	4-45 °С	4-45 °С	4-45 °С
рН при химической промывке (очистка)	2-11(1-12)	2-10,8 (1-12)	2-10 (1-11,5)
Максимальный расход	17 м <sup>3</sup> /ч	17 м <sup>3</sup> /ч	17 м <sup>3</sup> /ч
Селективность	99,70 / 99,40	99,70 / 99,60	99,70
Площадь активной зоны	37 м <sup>2</sup>	37 м <sup>2</sup>	40 м <sup>2</sup>
Цена	1433BYN(700\$)	1617BYN(790\$)	2151BYN(1011\$)

Контроль технологических параметров при испытаниях установки осуществляется на базе приборов, установленных на блоке.

Таблица 3. – Средства измерения и приборы контроля

Наименование и краткая техническая характеристика	Количество, шт.	Назначение
Аналитический прибор АЖК-3122.1.П.2 Диапазон измерения 0...1000 мкСм/см; выходной сигнал 4...20мА; Изготовитель ЗАО «НПП Автоматика»	1	Измерение удельной электропроводности пермеата, мкСм/см
Расходомер электромагнитный «Взлет ТЭР» Ду = 80 мм, выходной сигнал 4...20мА; Изготовитель: «Взлет»	1	Измерение расхода исходной воды, м <sup>3</sup> /ч

При работе установки внутри мембранного модуля происходит накопление слизи, как на поверхности обратноосмотического элемента и его держателя, так и внутри самой обратноосмотической мембраны.

Слизь представляет собой биопленку органического характера, т.е. колонии микроорганизмов, закрепившиеся и развившиеся на поверхности мембранного модуля. Общей практикой признается то, что чем меньше микроорганизмов в воде, тем менее вероятно ее биообрастание. Как правило для мониторинга количества микроорганизмов широко используется определение общего микробного числа (ОМЧ) в исходной воде перед обратным осмосом. Поэтому необходимо производить контроль количества микроорганизмов в воде по показателю ОМЧ, с целью выявления значения данного показателя при снижении производительности блока на 15-20% или увеличение электропроводности фильтрата более чем на 15-20% [5].

Для этого каждые пятье сутки производим отбор проб анализа через пробоотборные точки и проводим анализ по следующей технологии:

- берем не менее 500 мл воды с соблюдением асептики (обжигаем краны, используем стерильную посуду);
- делаем посев 10-кратных разведений воды (1:10, 1:100 и т. д) в чашки Петри по 1 мл глубинным методом Коха на МПА (для бактерий), и на сусло-агар (для грибов);
- инкубируем при 37°C – 24 часа для бактерий и при 24°C – 2-3 суток для грибов;
- считаем число колоний (1 колония – 1 клетка);
- число колоний (1 колония – 1 клетка) умножают на степень разведения и получают микробное число воды (т.к. объем посева – 1мл, а ОМЧ воды – число микроорганизмов в 1 мл воды).

С помощью приборов (табл. 3) каждый час производится сверка параметров и при их отклонении более чем на 15% производится прямая промывка частично обессоленной водой с расходом 15-17 м<sup>3</sup>/ч в течение 5-10 минут с добавлением щелочного моющего раствора для удаления органических и биологических материалов, а затем кислотным - для растворения минеральных отложений.

Экспериментальные исследования работы мембран.

Загрязнение мембран обратного осмоса органическими веществами приводит к снижению пропускной способности и скорости процесса фильтрации.

В ходе испытаний установлена продолжительность работы мембран (каждые 16 часов), за которую производительность падает более чем на 15%, в результате чего необходимо производить промывку блока частично обессоленной водой (рисунок 1).

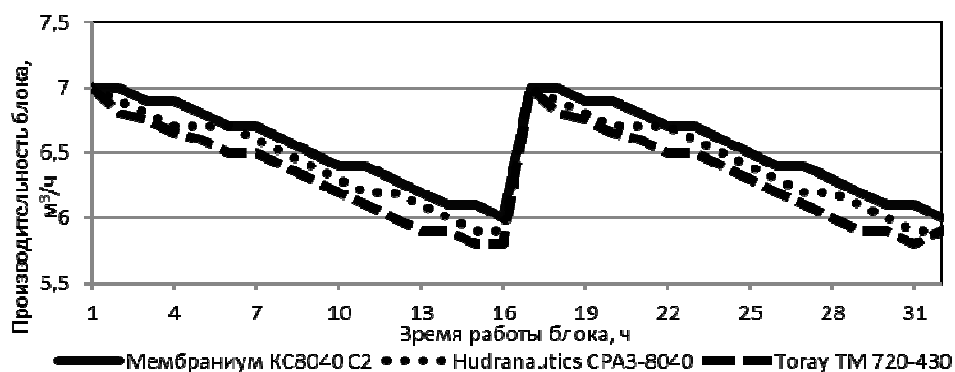


Рисунок 1. – График зависимости производительности мембран от времени работы блока

В ходе испытаний также установлено время вывода мембран на химическую (по ОМЧ) промывку и построены графики зависимости ОМЧ от времени работы блока (рисунок 2). В первую очередь выполняется химическая промывка со щелочным моющим раствором (0,5% Акварезалт ПМ-20) для удаления органики и биологических материалов, а затем кислотным моющим раствором (8% Акварезалт ПМ-25) для растворения отложений. При этом между промывками необходимо включить блок в работу на несколько часов, чтобы при рабочем давлении гарантировано обеспечить удаление остатков отработавшего щелочного моющего раствора из застойных зон.

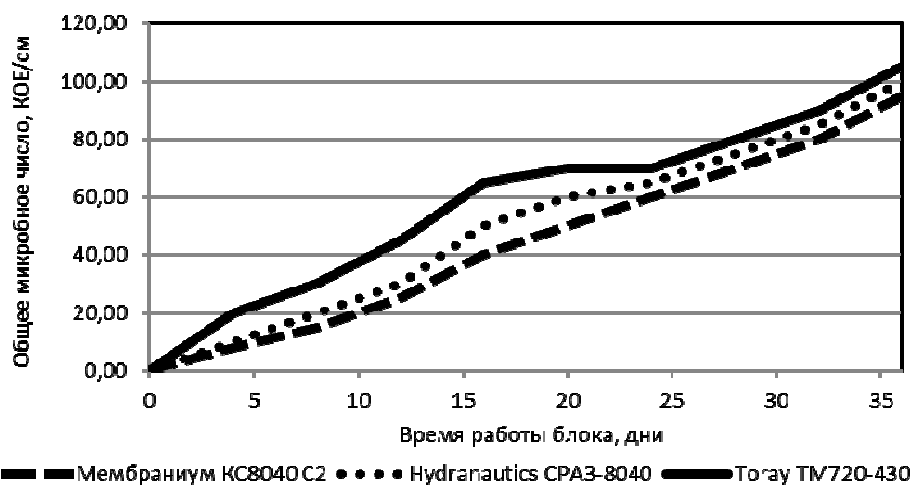


Рисунок 2. – График зависимости загрязненности мембран обратного осмоса органическими веществами от времени эксплуатации

Для наглядности приведена гистограмма снижения производительности обратноосмотических мембран в % от нормативной величины (рисунок 3).

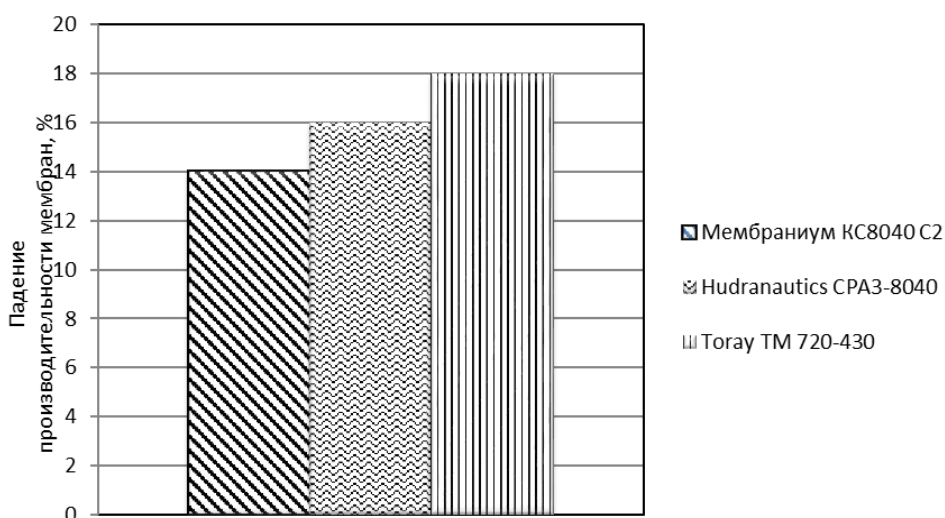


Рисунок 3. – Гистограмма потери производительности обратноосмотических мембран за период наблюдения (36 суток)

**Заключение.** В ходе испытаний получены следующие данные:

1. Для всех типов мембран установлено, что значительных отложений и биообрастания в условиях обработки воды специальными реагентами не происходит. Оптимальное время эксплуатации до проведения прямой промывки частично обессоленной водой составляет 16 часов.

2. За цикл фильтрации производительность мембраны марки Мембраниум КС8040 С2 уменьшается на 14 %, марки HydraNautics CPA3-8040 - на 16 % и марки TorayTM720-430 – на 18%.

3. За срок наблюдения (36 суток) загрязненность органическими веществами ОМЧ составляет, соответственно, 96, 100 и 105 КОЕ/см.

4. Таким образом, путем сравнения основных технических характеристик представленных мембран, а также результатов, полученных в ходе проведения экспериментальных исследований на модельной установке, установлено, что обратноосмотические мембраны «Мембраниум КС8040-С2» при сравнительно равных технических характеристиках относительно мембран других производителей имеет лучшую стойкость к отложениям, загрязнению органическими веществами и отличается более низкой стоимостью. А также в связи с тем, что данная мембрана обладает более высокой стойкостью к отложениям и органическим веществам, расходуется меньшее количество регенерационных растворов и уменьшаются затраты на утилизацию сточных вод с высоким содержанием химических веществ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Реут, О.П, Хаютина, Е.С, Куличенков В.П. Водоподготовка для предприятий энергетики: учебно-методическое пособие для слушателей курсов повышения квалификации энергетиков и студентов энергетического факультета БНТУ / О.П. Реут, Е.С. Хаютина, В.П. Куличенков; кол. авт. Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Метрология и энергетика" . – Минск: БНТУ, 2015. 12–94 с.
2. Чиж, В.А., Карницкий, Н.Б., Денисов, С.М., Нерезько, А.В. Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС и АЭС : учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальностей 1-43 01 04" Тепловые электрические станции" и 1-43 01 08 "Паротурбинные установки атомных электрических станций" / В.А. Чиж, Н.Б. Карницкий, С.М. Денисов и А.В. Нерезько ; кол. авт. Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Тепловые электрические станции". – Минск : БНТУ, 2015. – 105 с.
3. Информационный портал «Энерготехника» Статья «Техническое описание паровых котлов серии БЭМ ООО Белэнергомаш-БЗЭМ». [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://entechnika.ru/wp-content/uploads/2019/02>. – Дата доступа: 29.10.2019.
4. Каталог мембранных элементов марки HydraNautics [Электронный ресурс]. Режим доступа - <http://membranes.com/wp-content/uploads/2017/03/CPA3.pdf>. Дата доступа – 29.10.2019.
5. Шагарова, А.А., Горбаченко, В.И. Анализ выбора полупроницаемых мембран в зависимости от технологических параметров процесса ультрафильтрации / А.А. Шагарова, В.И. Горбаченко // Энерго– и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2017. – №4 (21) – С. 69– 72.

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>