

# БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского  
государственного университета

\_\_\_\_\_ А.Д.Король

27 июня 2025 г.

Регистрационный № 3487/м.



## **«ЗЕЛЕННЫЕ» ТЕХНОЛОГИИ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для  
специальности высшего образования:

**7-06-0531-01 Химия**

Профилизация: Химический дизайн новых материалов

2025 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 7-06-0531-01-2023 и учебного плана № М44-5.5-42/уч. от 23.05.2025.

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

*Т.А.Савицкая*, профессор кафедры физической химии химического факультета Белорусского государственного университета, доктор химических наук, профессор

**РЕЦЕНЗЕНТ:**

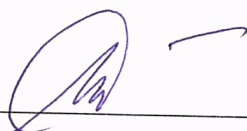
*Т.Н.Невар*, заместитель директора по научной и инновационной работе ГНУ «Институт физико-органической химии НАН Беларуси», кандидат химических наук

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой физической химии и электрохимии БГУ  
(протокол № 15 от 19.06.2025);

Научно-методическим советом БГУ  
(протокол № 11 от 26.06.2025)

Заведующий кафедрой



Е.А.Стрельцов

*Т.В. Коваленко-Радзинская*  
*Корф*

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### **Цели и задачи учебной дисциплины**

Цель учебной дисциплины – сформировать у студентов представления о содержании и соотношении понятий «зеленая» экономика и «зеленая» промышленность, декарпинге, концепции химического лизинга, принципах зеленой химии и технологии, современных тенденциях использования принципов зеленой химии на предприятиях химической и фармацевтической промышленности и конкретных примерах инновационных разработок в области «зеленых» технологий в мире и Республике Беларусь.

Задачи учебной дисциплины:

- сформировать у студентов иерархически выстроенную систему базовых представлений, раскрывающих концепции «зеленой» экономики и «зеленой» химии;
- обеспечить формирование на основе приобретенных базовых знаний научного мировоззрения, позволяющего развивать инновационные технологии для химической промышленности, которые безопасны для окружающей среды и здоровья как населения, так и персонала производственных предприятий.

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки специалиста с углубленным высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к модулю «Перспективные химические технологии и материалы» компонента учреждения образования.

Учебная программа составлена с учетом межпредметных связей с учебной дисциплиной «Зеленая химия».

### **Требования к компетенциям**

Освоение учебной дисциплины «“Зеленые” технологии в химической промышленности» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

#### ***Специализированные компетенции***

Использовать современные концепции строения материи, методы химического материаловедения, молекулярной инженерии для описания свойств функциональных материалов с различной структурной организацией.

Предлагать области применения новых материалов и технологий химической и фармацевтической отрасли, в научной и инновационной деятельности

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

#### **знать:**

- основное содержание и соотношение понятий «зеленая» экономика и «зеленая» промышленность;
- основы концепций декарпинга и химического лизинга;
- основные законодательные документы по безопасному обращению с химическими веществами;
- принципы зеленой химии и технологии;
- современные тенденции использования принципов зеленой химии на предприятиях химической и фармацевтической промышленности;

– конкретные примеры инновационных разработок в области «зеленых» технологий в мире и Республике Беларусь;

**уметь:**

– провести анализ осведомленности предприятия о «зеленой» химии и её принципах;

– информировать специалистов предприятия о возможностях «зеленой» химии для повышения энерго- и ресурсоэффективности технологического процесса;

– использовать принципы «зеленой» химии и технологии для разработки «зеленых» технологических процессов.

**иметь навыки:**

– анализа осведомленности предприятия о «зеленой» химии и её принципах;

– выдачи рекомендаций по внедрению концепции химического лизинга;

– эффективного использования в технологических процессах и научных исследованиях принципов «зеленой» химии и технологии;

– оценки и прогнозирования уменьшения воздействия химических веществ на окружающую среду и человека для достижения целей устойчивого развития.

**Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 1 семестре. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины ««Зеленые» технологии в химической промышленности» отведено для **очной формы** получения высшего образования – 114 часов, в том числе 38 аудиторных часов, лекции – 20 часов, семинарские занятия – 18 часов. Из них:

Лекции – 20 часов, семинарские занятия – 6 часов + 6 часов ДОТ, управляемая самостоятельная работа (УСР) – 2 часа + 4 часа (внеаудит.).

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

## **СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА**

### **РАЗДЕЛ 1. КОНЦЕПЦИЯ «ЗЕЛЕННОЙ» ЭКОНОМИКИ И «ЗЕЛЕННОЙ» ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАК ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

#### ***Тема 1.1 Основные определения и стратегии***

Определение понятий «зеленая» экономика и «зеленая» промышленность» и соотношение между ними. Концепция ЮНИДО по «зеленой» промышленности для устойчивого развития. Двухкомпонентная стратегия «зеленой» промышленности. Декаплинг. Преимущества «зеленой» промышленности. Химический лизинг как инновационная бизнес-модель. Отличие модели химического лизинга от классической схемы торговли товаром. Выгоды модели для производителя и потребителя. Примеры проектов химического лизинга.

#### ***Тема 1.2 «Более чистое производство» как актуальная стратегия развития мировой промышленности***

Проблемы современного химического производства: нестабильность процессов, отходы, ограниченность углеводородного сырья и источников энергии. Реализация в химической промышленности концепции «Более чистое производство», обеспечивающей защиту окружающей среды, потребителя и работника при одновременном повышении эффективности, увеличении прибыли и конкурентоспособности. Переход от административных методов к методам «зеленой химии». Программа мировых производителей химической продукции «Ответственная забота» («Responsible Care») и ее вклад в устойчивое развитие. Глобальная Стратегия Управления Продуктом (Global Product Strategy, GPS) как часть программы «Ответственная забота». Понятие жизненного цикла продукта.

#### ***Тема 1.3 Законодательство в химической промышленности, регулирующее охрану окружающей среды***

Системы экологического менеджмента: ISO 14001, европейский эко-менеджмент и аудит (EMAS). Регулирование рационального использования химических веществ. Законодательные документы, регламентирующие охрану окружающей среды в химической промышленности: требования к химической продукции Chemicals Policy, REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical substances), Согласованная на Глобальном Уровне Система Классификации и Маркировки Химической Продукции (Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals, GHS). Экомаркировка.

### **РАЗДЕЛ 2. «ЗЕЛЕННЫЕ» ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ**

#### ***Тема 2.1 Принципы зеленой химии и зеленого инжиниринга***

Исторические предпосылки, этапы и направления развития «зеленой» химии. Принципы «зеленой» химии и примеры их реализации в технологических процессах. Принципы «зеленого» инжиниринга и их использование

промышленными предприятиями. Основные метрики «зеленого» синтеза и «зеленой» технологии. Внедрение принципов «зеленой» химии и «зеленого» дизайна на предприятиях химической и фармацевтической отрасли.

### ***Тема 2.2 «Зеленый» дизайн химических процессов***

Дорожная карта устойчивой химической промышленности. Технологические аспекты внедрения «зеленых» химических процессов. Новое аппаратное оформление технологических процессов. Принципы интенсификации технологических процессов: увеличение массо- и теплопереноса, оптимизация продолжительности реакции. Классические реакторы периодического и проточного действия. Недостатки классических реакторов. Новые виды аппаратов в технологических процессах: реакторы с вращающимся диском, каталитические мембранные реакторы, микрореакторы. Многофункциональные реакторы: противоточные реакторы, хроматографические реакторы. Реакционная перегонка, экстракция, кристаллизация. Примеры химических процессов в новых видах реакторов. Зеленые растворители в химической и фармацевтической промышленности. 12 принципов «зеленого» дизайна химических процессов. Дизайн более безопасный по своей природе.

### ***Тема 2.3 «Зеленые» технологии в Республике Беларусь***

Отличительные особенности экологических инноваций. Реализация принципов «зеленой» химии в процессах конверсии биомассы в платформенные молекулы. Биоразлагаемая упаковка: классификация, проблемы, инновации и перспективы развития. Современное состояние производства химических волокон в Республике Беларусь. Целлюлоза как самый распространенный биополимер и растворители целлюлозы. Общая схема процесса получения гидратцеллюлозного волокна. Альтернативные вискозному новые технологические процессы. «Зеленый» процесс получения гидратцеллюлозных волокон, разработанный в БГУ. «Зеленая» химия на предприятиях текстильной промышленности.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий  
(ДОТ)

| Номер раздела,<br>темы | Название раздела, темы                                                                          | Количество аудиторных часов |                         |                        |                         |      | Количество часов<br>УСР | Форма контроля             |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------|-------------------------|----------------------------|
|                        |                                                                                                 | Лекции                      | Практические<br>занятия | Семинарские<br>занятия | Лабораторные<br>занятия | Иное |                         |                            |
| <b>1</b>               | <b>Концепция «зеленой» экономики и «зеленой» промышленности как основа устойчивого развития</b> | <b>8</b>                    |                         |                        |                         |      |                         |                            |
| 1.1                    | Основные определения и стратегии                                                                | 2                           |                         | 2<br>ДОТ               |                         |      | 2                       | Эссе                       |
| 1.2                    | «Более чистое производство» как актуальная стратегия развития мировой промышленности.           | 2                           |                         | 2                      |                         |      |                         | Экспресс-опрос             |
| 1.3                    | Законодательство в химической промышленности, регулирующее охрану окружающей среды              | 4                           |                         | 2<br>ДОТ               |                         |      |                         | Выступление с презентацией |
| <b>2</b>               | <b>«Зеленые» химические технологии</b>                                                          | <b>12</b>                   |                         |                        |                         |      |                         |                            |
| 2.1                    | Принципы зеленой химии и зеленого инжиниринга                                                   | 4                           |                         | 2<br>ДОТ               |                         |      | 4<br>(вн.)              | Выступление с презентацией |
| 2.2                    | «Зеленый» дизайн химических процессов                                                           | 4                           |                         | 2                      |                         |      |                         | Устный опрос               |
| 2.3                    | «Зеленые» технологии в Республике Беларусь                                                      | 4                           |                         | 2                      |                         |      |                         | Эвристический диалог       |
|                        | <b>Итого:</b>                                                                                   | <b>20</b>                   |                         | <b>12</b>              |                         |      | <b>6</b>                |                            |

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Основная литература

1. Green Chemistry : Process Technology and Sustainable Development / Tatsiana Savitskaya, Iryna Kimlenka, Yin Lu [et al.]. - Signapore: Springer jointly published with Zhejiang University Press, 2022. – 149 p. ISBN 978-981-16-3745-2.

### Дополнительная литература

1. Введение в "зеленую" химию: Беларусь и страны Вышеградской четверки : опорный конспект лекций для студ. спец. "Химия" (по направлениям) / [авт.: Т. А. Савицкая и др.] ; БГУ, Международный Вышеградский Фонд. - 2-е изд., пересмотр. - Минск : Издательский центр БГУ, 2016. - 151 с.

2. Локтева Е.С. Методы реализации процессов «зеленой» химии: учебное пособие / Е.С. Локтева. – М.: Изд-во Триумф, 2021. – 270 с. – URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_45676542\\_43182504.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_45676542_43182504.pdf)

3. Зелёная химия как инструмент устойчивого развития : учебное пособие / Атласкин А.А., Атласкина М.Е., Воротынцев А.В. [и др.]; сост. Н.П. Тарасова, А.Г. Ишков, С.О. Гоманова. – М.: Неправительственный экологический фонд имени В.И. Вернадского, 2024. – 292 с.: ил.

4. Савицкая, Т. А. Биоразлагаемые композиты на основе природных полисахаридов / Т. А. Савицкая ; БГУ. - Минск : БГУ, 2018. - 207 с.

5. Малышева, Т. В. Методология организации малоотходных химико-технологических систем на принципах "зеленой" химии / Т. В. Малышева, А. И. Шинкевич ; Минобрнауки России, ФГБОУВО "Казанский национальный исследовательский технологический университет". - Казань : Казанский национальный исследовательский технологический ун-т ; Курск : Университетская книга, 2022. - 218 с.

6. Andraos, John. Reaction Green Metrics : Problems, Exercises, and Solutions / by John Andraos. - Boca Raton ; London ; New York : CRC Press : Taylor & Francis Group, 2019. - 592 с.

### Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Текущий контроль уровня знаний, обучающихся может осуществляться с использованием следующих средств диагностики:

1. Эвристические диалоги по отдельным темам;
2. Экспресс- и устные опросы;
3. Эссе;
4. Выступление с презентацией.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Зеленые химия» учебным планом предусмотрен экзамен.

Для формирования итоговой отметки по учебной дисциплине используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студента, дающая

возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущей и промежуточной аттестации студентов по учебной дисциплине.

Формирование итоговой отметки в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации (примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации):

- экспресс- и устные опросы – 25 %;
- эссе – 25 %;
- эвристический диалог – 25 %;
- выступление с презентацией – 25 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе итоговой отметки текущей аттестации (модульно-рейтинговой системы оценки знаний) 60 % и экзаменационной отметки 40 %.

### **Примерный перечень задан для управляемой самостоятельной работы**

#### ***Тема 1.1. Основные определения и стратегии (2 ч)***

**Задание 1.** Дать определение понятий «зеленая» экономика и «зеленая» промышленность» и соотношение между ними. Сформулировать концепцию ЮНИДО по «зеленой» промышленности для устойчивого развития и двухкомпонентную стратегию «зеленой» промышленности. Написать эссе «Концепция «зеленой» экономики и «зеленой» промышленности как основа устойчивого развития»

(Форма контроля – эссе)

#### ***Тема 2.1. Принципы зеленой химии и зеленого инжиниринга (4 ч)***

**Задание 2.** Сформулировать стратегию «дизайна, более безопасного по своей природе». Проанализировать, как она соотносится с двенадцатью принципами зеленой инженерии. Привести примеры «зеленых» технологий, разработанных в учреждении БГУ «НИИ физико-химических проблем».

(Форма контроля –выступление с презентацией)

### **Примерная тематика семинарских занятий**

1. Химический лизинг как инновационная бизнес-модель.
2. Более чистое производство» как актуальная стратегия развития мировой промышленности.
3. Законодательство в химической промышленности, регулирующее охрану окружающей среды.
4. Зеленые технологии в химической и фармацевтической промышленности.
5. Зеленые технологии в Республике Беларусь.

### **Описание инновационных подходов и методов**

## **к преподаванию учебной дисциплины**

Линейный (традиционный) метод (лекция, семинарские занятия);

Активные (интерактивные) методы:

проблемно-ориентированное обучение PBL (Problem-Based Learning). Обучающиеся приобретают знания и навыки при решении реальных, открытых проблем. Учебный процесс строится на основе практических заданий, а не традиционного изложения материала, что способствует более глубокому пониманию и развитию навыков критического мышления;

командно-ориентированное обучение TBL (Team-Based Learning). Обучение, основанное на использовании малых групп, дает возможность сначала изучить учебный материал, а на занятии применить полученные знания, умения и навыки при помощи последовательности действий, включающей индивидуальную работу, командную работу, а также мгновенную обратную связь;

научно-ориентированное обучение RBL (Research-Based Learning). Исследование становится центральным инструментом образовательного процесса. Вместо традиционного усвоения готовых знаний, студенты активно участвуют в исследовательской деятельности, что способствует более глубокому пониманию материала и развитию навыков критического мышления.

### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы**

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- поиск и обзор литературы и электронных источников по заданной теме;
- изучение материалов, размещенных на образовательном портале <https://educhem.bsu.by/> (дисциплина «Зеленые технологии в химической промышленности») и на сайте химического факультета <https://chemistry.bsu.by/index.php/ru/zelenaya-khimiya> .;
- подготовка к семинарским занятиям.

Внеаудиторные учебные занятия проводятся с использованием электронной образовательной среды образовательного портала <https://educhem.bsu.by/> и сайта химического факультета <https://chemistry.bsu.by/index.php/ru/zelenaya-khimiya> .

Электронный образовательный контент по учебной дисциплине размещается на образовательном портале <https://educhem.bsu.by/> и на сайте <https://chemistry.bsu.by/index.php/ru/zelenaya-khimiya> .

Доступ к ресурсам учебной дисциплины обучающихся осуществляется с использованием авторизации посредством учетных записей.

### **Примерный перечень вопросов к экзамену**

1. Определение понятий «зеленая» экономика и «зеленая» промышленность» и соотношение между ними.

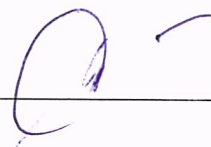
2. Концепция ЮНИДО по «зеленой» промышленности для устойчивого развития. Двухкомпонентная стратегия «зеленой» промышленности.
3. Кривая Кузнеца и декарбонизация.
4. Химический лизинг как инновационная бизнес-модель. Отличие модели химического лизинга от классической схемы торговли товаром. Примеры проектов химического лизинга.
5. Проблемы современного химического производства: нестабильность процессов, отходы, ограниченность углеводородного сырья и источников энергии. Реализация в химической промышленности концепции «Более чистое производство».
6. Программа мировых производителей химической продукции «Ответственная забота» («Responsible Care») и ее вклад в устойчивое развитие.
7. Глобальная Стратегия Управления Продуктом (Global Product Strategy, GPS) как часть программы «Ответственная забота». Понятие жизненного цикла продукта.
8. Системы экологического менеджмента: ISO 14001, европейский эко-менеджмент и аудит (EMAS).
9. Законодательные документы, регламентирующие охрану окружающей среды в химической промышленности: требования к химической продукции Chemicals Policy, REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical substances).
10. Согласованная на Глобальном Уровне Система Классификации и Маркировки Химической Продукции (Globally Harmonized System of Classification and Labeling of Chemicals, GHS).
11. Экомаркировка. Проблемы и перспективы.
12. Исторические предпосылки, этапы и направления развития «зеленой» химии. Принципы «зеленой» химии и примеры их реализации в технологических процессах.
13. Новое аппаратное оформление технологических процессов. Принципы интенсификации технологических процессов: увеличение массо- и теплопереноса, оптимизация продолжительности реакции.
14. Классические реакторы периодического и проточного действия. Недостатки классических реакторов. Новые виды аппаратов в технологических процессах: реакторы с вращающимся диском, каталитические мембранные реакторы, микрореакторы.
15. Многофункциональные реакторы: противоточные реакторы, хроматографические реакторы. Реакционная перегонка, экстракция, кристаллизация. Примеры химических процессов в новых видах реакторов.
16. Зеленые растворители в химической и фармацевтической промышленности.
17. 12 принципов «зеленого» дизайна химических процессов.
18. Концепция дизайна более безопасного по своей природе.

19. Отличительные особенности экологических инноваций. Реализация принципов «зеленой» химии в процессах конверсии биомассы в платформенные молекулы.
20. Биоразлагаемая упаковка: классификация, проблемы, инновации и перспективы развития.
21. Современное состояние производства химических волокон в Республике Беларусь.
22. Целлюлоза как самый распространенный биополимер и растворители целлюлозы. Общая схема процесса получения гидратцеллюлозного волокна.
23. Проблемы растворения целлюлозы и ее известные растворители. Альтернативные вязкому процессу процессы получения гидратцеллюлозных волокон.
24. Зеленый процесс получения гидратцеллюлозных волокон, разработанный в БГУ.
25. Зеленая химия на предприятиях текстильной промышленности.
26. Дорожная карта устойчивой химической промышленности. Технологические аспекты внедрения «зеленых» химических процессов.
27. Принципы «зеленого» инжиниринга и их использование промышленными предприятиями.
28. Основные метрики «зеленого» синтеза и «зеленой» технологии.
29. Внедрение принципов «зеленой» химии и «зеленого» дизайна на предприятиях химической и фармацевтической отрасли.
30. Выгоды модели химического лизинга. Примеры проектов химического лизинга.
31. Сформулируйте принципы зеленой химии и укажите возможности их использования на предприятиях химической промышленности.
32. Регулирование рационального использования химических веществ. Законодательные документы, регламентирующие охрану окружающей среды в химической промышленности.
33. Технологические аспекты внедрения на предприятиях зеленых химических процессов.
34. Классические реакторы периодического и проточного действия и проточные реакторы.
35. Охарактеризуйте зеленые технологии, разработанные в БГУ.
36. Принципы создания безотходных технологий.
37. Ионные жидкости и глубокие эвтектические растворители. Применение в зеленых технологиях химической промышленности.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

| Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование | Название кафедры | Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине | Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола) |
|---------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Учебная дисциплина не требует согласования                    |                  |                                                                                                               |                                                                                                   |

Заведующий кафедрой  
физической химии и электрохимии,  
д.х.н., профессор



Е.А.Стрельцов

19.06.2025

## ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УО

на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

| №<br>п/п | Дополнения и изменения | Основание |
|----------|------------------------|-----------|
|          |                        |           |

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
\_\_\_\_\_ (протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 202\_ г.)

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_