

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»**

ВЫСШАЯ ШКОЛА ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГЕТИКИ

ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТЫ

**ВЛИЯНИЕ ЩЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ
ЦЕЛЛЮЛОЗЫ НА РАСТВОРИМОСТЬ
В ВОДНОМ РАСТВОРЕ H_2SO_4**

**Методические указания
к лабораторным работам**

**Санкт-Петербург
2020**

УДК 544.6.018.47-036.5:676

Полиэлектролиты. Влияние щелочной обработки целлюлозы на растворимость в водном растворе H_2SO_4 : методические указания к лабораторным работам / сост.: В.С. Антонова, И.И. Осовская. ВШТЭ СПбГУПТД. - СПб., 2020.– 20 с.

Настоящие методические указания содержат описание лабораторных работ, необходимых при изучении курса «Полиэлектролиты», а также примеры оформления полученных результатов.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению 18.03.01 «Химическая технология» Института технологии.

Рецензент: А.Н. Евдокимов, канд. хим. наук, зав. кафедрой материаловедения и технологии машиностроения ВШТЭ СПбГУПТД.

Подготовлено и рекомендовано к печати кафедрой физической и коллоидной химии ВШТЭ СПбГУПТД (протокол № 2 от 25.09.2020).

Утверждено к изданию методической комиссией института технологии ВШТЭ СПбГУПТД (протокол № 2 от 28.09.2020).

Содержание

Предисловие.....	4
1. Взаимодействие целлюлозы с водным раствором гидроксида натрия	6
1.1. Действие растворов щелочей на целлюлозу.....	6
1.2. Физико-химические основы активации целлюлозы растворами едкого натра.....	7
2. Набухание целлюлозы в растворах щелочей	12
Лабораторная работа № 1	13
Лабораторная работа № 2	14
Лабораторная работа № 3	17
Библиографический список.....	20

Предисловие

Целлюлоза является одним из важнейших и наиболее распространенных природных высокомолекулярных соединений, химический состав и строение макромолекул которого определяются особенностями биохимического синтеза. Целлюлоза – это не только основа живых растительных организмов с многообразием их внешних форм и качеств, но и ценное полимерное сырьё для создания огромного ассортимента материалов самого широкого назначения.

Химическая структура и модификация полимеров с целью придания им новых заранее заданных свойств – одно из современных направлений исследования в области химии целлюлозы.

Лёгкость, с которой целлюлоза поддается различного типа модификациям, создаёт исключительно большие возможности для получения разнообразных материалов на её основе с ценными специфическими свойствами. Многие отрасли народного хозяйства основываются на преимущественном использовании целлюлозы и её производных – это производство бумаги, многих текстильных волокон, плёночных материалов, лаков, пластмасс и т.д.

Развитие фундаментальных исследований в области химии и физики целлюлозы позволит ещё шире использовать этот полимер путём создания новых научно обоснованных и строго регулируемых процессов её структурной и химической модификации, новых методов химических превращений целлюлозы и направленного изменения её структуры и свойств.

Однако полное решение проблемы направленного, строго регулируемого синтеза не только новых производных, но и давно известных и широко используемых с установлением зависимости свойств от степени замещения, от характера вводимой группы и равномерности её распределения по длине макромолекулы целлюлозы, от молекулярного веса и молекулярно-массового распределения (ММР) целлюлозы невозможно без параллельного и полного решения проблемы сохранения и улучшения реакционной способности. Решение этой проблемы представляет большие трудности, так как требует

знания всех особенностей целлюлозной молекулы и всех тонкостей физической структуры целлюлозных систем.

Сложной и трудно поддающейся глубокому изучению является структура целлюлозного волокна, и по сути дела ни один из факторов, характеризующих структуру, не изучен полностью. И в то же время ясно, что каждый из факторов – природная морфология и расположение макромолекул в тончайших фибриллярных образованиях, и конформация макромолекул в различных модификациях и конформациях её элементарных звеньев в окружении различных сред, и способы, которыми осуществляли внутри- и межмолекулярные взаимодействия, – всё это может оказывать влияние на реакционную способность целлюлозы.

Полное решение проблемы улучшения реакционной способности целлюлозы находится в связи с её физической структурой ещё и потому, что по существу для целлюлозы нет обычных растворителей, которые делали бы возможным проведение различных реакций в гомогенной среде, т.е. исключали бы влияние таких факторов, как природная морфология, степень кристалличности, сильное межмолекулярное взаимодействие и т.д.

Реакции на целлюлозе всегда проходят, или, во всяком случае, начинаются, в гетерогенных условиях, т.е. на границе раздела фаз. Без изучения влияния физической структуры на такие процессы решение проблемы реакционной способности целлюлозы невозможно.

1. Взаимодействие целлюлозы с водным раствором гидроксида натрия

1.1. Действие растворов щелочей на целлюлозу

Обработка целлюлозных волокон концентрированными растворами щелочей – один из старейших промышленных процессов. В настоящее время обработка водными растворами гидроксида натрия применяется в текстильной промышленности, при облагораживании целлюлозы для химической переработки в целлюлозном производстве, а также как промежуточная стадия активации целлюлозы при производстве вискозных волокон и плёнок простых эфиров целлюлозы.

Впервые обработку целлюлозы 16..19 % растворами NaOH изучал Мерсер в 1844 году.

Волокна хлопковой целлюлозы сильно набухали в поперечном направлении и укорачивались, т.е. целлюлозные волокна проявляли характерную анизотропию набухания. В честь Мерсера обработку тканей, а также обработку технической целлюлозы концентрированными растворами гидроксида натрия (12..18 % NaOH) стали называть мерсеризацией, обработанную целлюлозу – щелочной целлюлозой (алкалицеллюлозой) и ту же целлюлозу после отмывки щёлочи – мерсеризованной целлюлозой.

Исследования показали, что при действии на целлюлозу концентрированных растворов NaOH и других щелочей происходит ряд изменений, которые можно подразделить на три типа:

- структурные (физические);
- физико-химические;
- химические.

Структурные изменения приводят к изменению кристаллической структуры целлюлозы. Под действием концентрированного раствора NaOH при комнатной температуре природная целлюлоза, имеющая кристаллическую решетку целлюлозы I, превращается в щелочную целлюлозу с новой кристаллической решёткой Na- целлюлозы, а последняя после отмывки водой

щёлочи – в гидратцеллюлозу (мерсеризованную целлюлозу) с кристаллической решёткой целлюлозы II. Эти изменения наблюдаются с помощью рентгенографического анализа, показывающего также, что у мерсеризованной целлюлозы степень кристаллизации обычно ниже, чем у исходной.

Физико-химические процессы приводят к набуханию целлюлозных волокон, сопровождающемуся изменением системы межмолекулярных связей, а также к частичному растворению содержащихся в технической целлюлозе продуктов деструкции целлюлозы с понижением степени полимеризации (СП) и нецеллюлозных примесей.

Химические изменения могут происходить в результате взаимодействия функциональных групп целлюлозы с гидроксидом натрия, реакции β -элиминирования и под действием кислорода воздуха. Последние две группы химических реакций рассматривают побочные процессы, приводящие к деструкции целлюлозы. Однако роль их возрастает при повышении температуры или при улучшении контакта с кислородом воздуха. Первая группа взаимодействий, приводящая к образованию щелочной целлюлозы, исследована достаточно подробно. Однако, обратимость протекающих реакций, отсутствие чётких стехиометрических соотношений в продуктах взаимодействия, включающие в структуру помимо щёлочи молекул воды затрудняют установление состава щелочной целлюлозы и типа образующегося соединения.

1.2. Физико-химические основы активации целлюлозы растворами едкого натра

Основная задача мерсеризации при получении волокна - это активация целлюлозы с достаточным разрушением водородных связей, необходимых для получения растворимого ксантогената и хорошо фильтрующейся вискозы.

Свойства щелочной целлюлозы

Щелочной целлюлозой называют продукт взаимодействия целлюлозы с растворами щелочей, в котором произошло изменение кристаллической структуры исходной целлюлозы.

Степень изменения кристаллической структуры зависит от концентрации щелочного раствора. В разбавленных растворах изменение не происходит. Структурная перестройка начинается при определенной концентрации щелочи и полностью завершается при более высоких концентрациях.

Значения этих концентраций зависят от вида щелочи, исходной целлюлозы и температуры. Чем ниже температура щелочной обработки, тем меньшая концентрация щелочного раствора необходима для образования щелочной целлюлозы.

С помощью рентгеноструктурного анализа установлено, что в зависимости от концентрации водного раствора NaOH и температуры образуются различные кристаллические модификации щелочной целлюлозы (Na-целлюлоза I), отличающейся соотношением NaOH и H₂O, приходящихся на одно глюкопиранозное звено. Изменение кристаллической решетки из-за включения в нее гидроксидов и воды сопровождается увеличением объема элементарной ячейки, изменением ее формы и переориентацией новой плоскости глюкопиранозных звеньев с образованием новой системы межмолекулярных связей.

Состав щелочной целлюлозы может значительно меняться. Так, из 12 %-го раствора NaOH целлюлоза поглощает 0,68 моля, из 16 % – 0,87 моля и из 19 % – моль NaOH на моль C₆H₁₀O₅. Щелочной целлюлозе, полученной при обработке 18-19 % раствором NaOH, приписывают псевдостехиометрическую формулу C₆H₁₀O₅·NaOH(H₂O)₃. При обработке 18 % NaOH в водном метаноле (1:9) получается щелочная целлюлоза с формулой C₆H₁₀O₅·NaOH. Изменения концентрации щелочи и температуры приводят к изменению состава щелочной целлюлозы, причём эти изменения непрерывны.

Необходимо отметить, что аморфные и кристаллические части целлюлозы, различаясь по доступности, поглощают разные количества гидроксида натрия и воды.

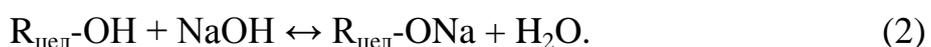
На механизм воздействия целлюлозы с растворами щелочей существуют различные точки зрения:

- ряд исследователей приходит к выводу, что при взаимодействии целлюлозы с гидроксидом натрия образуется аддитивное (молекулярное) соединение;

- другие авторы считают, что при взаимодействии образуется алкоголят целлюлозы, который по свойствам такой же, как и алкоголь натрия, полученный из этанола и гидроксида натрия.

Последние работы говорят, что при взаимодействии целлюлозы и щёлочи имеет место образование двух форм щелочной целлюлозы: алкоголята и молекулярного соединения.

Взаимодействие целлюлозы со щелочью может происходить с образованием аддитивных, или молекулярных, соединений, в которых связь между целлюлозой и щелочью обусловлена межмолекулярными силами, главным образом водородными связями (1), или с образованием алкоголятов (целлюлозатов), которые по свойствам такие же, как алкогольаты натрия, полученные из этанола и гидроксида натрия (2):



Образование целлюлозатов в водных растворах щелочи объясняют повышенной кислотностью гидроксильной группы у C₂.

Сторонники алкогольатной теории считают, что с ее помощью можно лучше объяснить образование ксантогенатов целлюлозы при взаимодействии щелочной целлюлозы с сероуглеродом и образование простых эфиров при взаимодействии с алкилгалогенидами. Такую возможность подтверждает и осуществленное экспериментально получение целлюлозатов натрия и калия

при действии на целлюлозу метилата натрия или калия в метаноле, или диметилсульфоксида (ДМСО).

Сторонники образования молекулярных соединений считают, что в водных растворах щелочей взаимодействие происходит между гидроксилами целлюлозы и гидроксид-ионами щелочи с образованием водородных связей.



Предлагается также модель гидратационного комплекса, в котором в гидратной оболочке ионной пары Na^+OH^- одна молекула воды вытеснена гидроксильной группой целлюлозы.

В модели смешанной структуры щелочную целлюлозу рассматривают одновременно как аддитивное и алкогольатное соединение.

В последнее время развивается теория образования соединений включения, согласно которой щелочная целлюлоза относится к слоистым решёточным соединениям включения.

Соединения включения представляют собой системы, в которых молекулы - «гости» внедряются в существующие или образующиеся полости в структуре другого вещества - «хозяина». Эти системы образуются самопроизвольно, т.е. с уменьшением свободной энергии, в результате образования Н-связей, дипольного взаимодействия и даже частично ионного взаимодействия между «хозяином» и «гостем».

Считают, что при определенной концентрации щелочь внедряется в кристаллическую решетку целлюлозы, создавая в ней полости. Этому способствует строение кристаллической решетки, в которой межмолекулярное взаимодействие в одних плоскостях сильнее, чем в других. В результате кристаллическая решетка имеет слоистый характер. На раздвижение слоев влияет степень гидратации внедряющихся ионов.

Наличие нескольких теорий образования щелочной целлюлозы свидетельствует о сложном характере взаимодействия целлюлозы с водными растворами щелочей. По-видимому, при контакте с концентрированным раствором щелочи устанавливается подвижное равновесие между алкогольатной

и молекулярной формами щелочной целлюлозы. В щелочной целлюлозе одновременно существуют связи с ионами натрия разного типа, причем в кристаллической и аморфной частях они могут различаться.

Для изучения процесса мерсеризации также широко был использован термохимический метод (Кальве, Жарковский и др.).

Все перечисленные работы по термохимии имели существенный недостаток, интегральные значения теплоты взаимодействия целлюлозы с растворами щёлочи получены без учёта теплоты разведения NaOH.

Впервые этот существенный факт был учтён в исследованиях, проводимых на нашей кафедре под руководством К.П. Мищенко.

Известно, что взаимодействие целлюлозы со щёлочью сопровождается понижением концентрации гидроксида натрия, а всякое изменение концентрации сильного электролита связано с изменением энтальпии, т.е. с промежуточной теплотой разведения, которая в области высоких концентраций достигает значительных величин (порядка 20 кал/г цел.), и их необходимо учитывать для правильного понимания механизма взаимодействия целлюлозы с водными растворами щёлочи.

Таким образом, в результате проведённых работ было показано, что истинный тепловой эффект взаимодействия (ΔH) целлюлозы со щёлочью, достигает максимальной величины и далее почти не изменяется, в то время как тепловой эффект, найденный без учёта значений теплоты разведения, возрастает во всей области концентраций. Было установлено, что число моль гидроксида натрия, реагирующего с целлюлозой, возрастает симбатно с выделением тепла при взаимодействии целлюлозы со щёлочью. По-видимому, при увеличении концентрации щёлочи большее число молекул воды входит в гидратную оболочку NaOH, и свободной воды, способствующей разрушению структуры целлюлозы, не хватает. В результате не наблюдается роста числа моль гидроксида натрия, взаимодействующего с целлюлозой.

2. Набухание целлюлозы в растворах щелочей

Процесс набухания целлюлозы в растворах щелочей более правильно рассматривать как процесс сорбции, при котором поглощение щелочи возрастает по мере повышения концентрации NaOH в растворе. Избирательное поглощение воды проходит через максимум с повышением концентрации щелочи в растворе.

Как уже отмечалось, поглощение щелочи целлюлозой изменяется при изменении температуры. Оно возрастает при понижении температуры и уменьшается при ее повышении. Однако при повышении температуры обработки следует учитывать и другие факторы, например, уменьшение степени полимеризации целлюлозы при обработке его раствором щелочи при повышенной температуре. Введение добавок в раствор NaOH может влиять на кажущееся поглощение щелочи, причем добавки спиртов оказываются наиболее эффективными в этом отношении. Так добавление метанола, этанола, н-пропанола или изопропанола к водным растворам NaOH вызывает образование щелочной целлюлозы при меньших концентрациях щелочи.

Добавление трет-бутанола, гликоля или глицерина оказывает незначительное действие. Причем количество NaOH, адсорбированное целлюлозой при добавлении в водный раствор NaOH одного и того же количества спирта, уменьшается в следующем ряду: бутанол, пропанол, этанол и метанол.

Добавки солей и других веществ, например, мочевины, тиомочевины, резорцина, ацетата натрия, также влияют на набухание целлюлозы в растворе щелочи.

Кроме NaOH исследовали также поглощение целлюлозой гидроокисей лития, калия, рубидия и цезия.

Саито исследовал набухание рами, медно-аммиачного волокна, хлопка в растворах гидроксидов лития, натрия и калия. Он использовал метод добавления нейтральной соли и сравнивал кажущуюся адсорбцию соли с

истинной адсорбцией щелочи и воды. При этом он обнаружил большее набухание рами и хлопка в NaOH, чем в LiOH. По мере снижения температуры адсорбция щелочи возрастала и менялась в следующем порядке: вискозное волокно > рами > хлопок. Максимумы на кривых избирательного поглощения воды и максимумы степени набухания появляются при одной и той же концентрации щелочи в растворе для медно-аммиачного волокна, рами и хлопка при обработке их растворами NaOH, LiOH или KOH. При 20 °С максимум сорбции воды волокном рами из растворов гидроокиси лития, натрия и калия составлял 7,6 и 3 моля воды на элементарное звено макромолекулы соответственно.

Добавление солей меди к раствору NaOH уменьшает растворимость целлюлозы, но при этом происходит внутрифибрилярное набухание.

Лабораторная работа № 1

Определение влажности целлюлозы

Целлюлоза, подобно древесине, всегда содержит некоторое количество гигроскопической влаги, которую необходимо определить в отдельных пробах перед проведением химических и физико-химических анализов.

Реактивы:

- целлюлоза;

Оборудование:

- аналитические весы;
- бюкс;
- сушильный шкаф;
- эксикатор.

Ход работы. В чистый высушенный бюкс помещают 1 г влажной целлюлозы, закрывают крышкой и взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,0002 г. Далее бюкс в открытом виде помещают в сушильный шкаф, нагретый до температуры 105 ± 2 °С, крышка бюкса также сушится в сушильном шкафу. Образец сушится 3-4 часа. После этого бюкс вынимают из

сушильного шкафа, предварительно закрыв крышкой, помещают в эксикатор и охлаждают до комнатной температуры. Затем взвешивают и снова помещают в сушильный шкаф на 1-2 часа. Задача состоит в том, чтобы досушить целлюлозу до постоянной массы, поэтому, если после второй сушки масса бюкса с целлюлозой осталась такой же, как после первой, то можно рассчитать влажность по формуле (1). Если же масса бюкса с целлюлозой изменилась, следует сушить снова до постоянной массы.

Влажность рассчитывают по формуле:

$$W = [(m_1 - m_2) / (m_1 - m)] \cdot 100, \quad (1)$$

где: m – масса пустого бюкса, г;

m_1 – масса бюкса с навеской целлюлозы до высушивания, г;

m_2 – масса бюкса с навеской целлюлозы после высушивания, г.

Разность между результатами двух параллельных измерений не должна превышать 0,1 %.

Коэффициент сухости рассчитывают по формуле (2).

$$K_{\text{сух}} = (100 - W) / 100. \quad (2)$$

Измеренные показатели влажности целлюлозы записывают в табл. 1.

Влажность целлюлозы

Таблица 1

Образец	Масса абсолютно-сухого бюкса, г	Масса бюкса с воздушно-сухой целлюлозой, г	Масса бюкса с абсолютно-сухой целлюлозой, г	Масса воздушно-сухой целлюлозы, г	Масса абсолютно-сухой целлюлозы, г	W, %	W _{ср} , %

Лабораторная работа № 2

Получение щелочной целлюлозы

Реактивы:

– целлюлоза;

- раствор гидроксида натрия различной концентрации;
- раствор уксусной кислоты (10 %);
- дистиллированная вода;
- метилоранж.

Оборудование:

- весы;
- химический стакан;
- стеклянные палочки;
- фильтр Шотта.

Ход работы. Взвешивают на аналитических весах 10 граммов воздушно-сухой целлюлозы, помещают в стакан на 500 мл, заливают целлюлозу водным раствором NaOH заданной концентрации (модуль 1:50).

Опыт проводят при заданных температуре и времени. При проведении обработки целлюлозы щёлочью, раствор периодически перемешивают стеклянной палочкой. По истечении заданного времени целлюлозу отфильтровывают на стеклянном фильтре Шотта и промывают 10 %-м раствором уксусной кислоты и дистиллированной водой до нейтральной реакции по метилоранжу. Далее отфильтрованную и промытую целлюлозу сушат при комнатной температуре.

Часть целлюлозы идёт на измерение растворимости целлюлозы в щелочи, а часть – на определение растворимости целлюлозы в кислоте.

Растворимость в щелочи рассчитывают по формуле (3).

$$a = [(m \cdot K_{\text{сух}}) - m_1] / m \cdot K_{\text{сух}}, \quad (3)$$

где: m – навеска воздушно-сухой целлюлозы, г;

m_1 – навеска абсолютно-сухой целлюлозы, г;

$K_{\text{сух}}$ – коэффициент сухости исследуемой целлюлозы.

Измеренные показатели растворимости целлюлозы в водных растворах гидроксида натрия записывают в табл. 2.

Лабораторная работа № 3

Растворимость щелочной целлюлозы в 2 Н растворе серной кислоты

Метод основан на обработке целлюлозы 2 Н раствором серной кислоты и определении не растворившегося осадка после промывки и высушивания.

Методика выбрана таким образом, чтобы исключить дополнительное растворение целлюлозы в процессе отмывки кислоты.

Реактивы:

- целлюлоза;
- раствор серной кислоты (2 Н);
- дистиллированная вода;
- метилоранж.

Оборудование:

- весы;
- химический стакан;
- стеклянная палочка;
- фильтр Шотта;
- бюкс;
- сушильный шкаф.

Ход работы. На аналитических весах взвешивают 1 г воздушно-сухой целлюлозы с известной влажностью и помещают в реакционные стаканы. В каждый стакан добавляют определенное количество H_2SO_4 (модуль 1:40) и оставляют на 30 минут при комнатной температуре. В течение этого времени необходимо перемешивать массу стеклянной палочкой. По истечении 30 минут целлюлозу отделяют от раствора кислоты с помощью фильтра Шотта, промывают дистиллированной водой до нейтральной реакции по метилоранжу. Затем отжимают с помощью вакуум-насоса. Далее целлюлозу с фильтра количественно переносят стеклянной палочкой в предварительно взвешенный бюкс и сушат в сушильном шкафу до постоянной массы.

Для каждого образца целлюлозы проводят три параллельных опыта.

Растворимость в кислоте рассчитывают по формуле:

$$P = [(g-g_1)/g] \cdot 100, \quad (4)$$

где P - растворимость целлюлозы в 2Н растворе H_2SO_4 , %:

g- навеска абсолютно-сухой целлюлозы до обработки кислотой, г;

g_1 - вес абсолютно-сухой целлюлозы после обработки кислотой, г.

A- количество влаги.

Результаты эксперимента заносят в табл. 3.

Библиографический список

1. Кленкова Н.И. Структура и реакционная способность целлюлозы. – Л.: Наука, 1976. – 367 с.
2. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров: учебник для вузов. – СПб.: СПбЛТА, 1999. – 628 с.
3. Кипершлак Э.З., Пакшвер А.Б., Белашева Т.П., Малюгин Ю.Я. и др. Определение реакционной способности целлюлоз к вискозообразованию. //Химические волокна, 1980, № 3, С. 24-25.
4. Малюгин Ю.Я., Белашева Т.П., Френкель С.Б., Пакшвер А.Б. Реакционная способность щелочных целлюлоз различных способов получения. В кн.: Направления развития технологии получения вискозы и производства вискозных текстильных нитей / Под ред. Фингера Г.Г. – Мытищи, 1979. – С.32-37.

Антонова Вероника Сергеевна
Осовская Ираида Ивановна

**ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТЫ
ВЛИЯНИЕ ЩЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ НА
РАСТВОРИМОСТЬ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ H_2SO_4**

Методические указания

к лабораторным работам

Редактор и корректор В.А. Басова

Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2020, поз. 98

Подп. к публикации 12.11.2020.

Объем 1,5 уч.-изд. л.; 1,5 печ. л. Электронное издание. Изд. № 98.

Ризограф Высшей школы технологии и энергетики СПбГУПТД, 198095,
Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 4