



Научная статья

УДК 674.812

DOI: 10.37482/0536-1036-2023-6-136-148

Режимы пропитки сортиментов из древесины сосны маслянистыми антисептиками

В.А. Шамаев, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [Y-9044-2018](https://orcid.org/0000-0002-1762-7956).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1762-7956>

И.Н. Медведев, канд. техн. наук; ResearcherID: [AAS-2731-2020](https://orcid.org/0000-0002-8214-3333).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8214-3333>

А.В. Руссу[✉], аспирант; ResearcherID: [AAH-9550-2019](https://orcid.org/0000-0001-8525-0348).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8525-0348>

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия, 394036; drevstal@mail.ru, medved-vrn82@mail.ru, arussu@mail.ru[✉]

Поступила в редакцию 12.08.22 / Одобрена после рецензирования 27.11.22 / Принята к печати 30.11.22

Аннотация. Исследованы технологические свойства масляных пропиток, применяемых при изготовлении шпал и столбов линий электропередач из древесины мягких лиственных пород. Цель – оптимизация параметров модифицирования древесины при производстве железнодорожных шпал и столбов линий электропередач для увеличения срока их службы. Анализируемый фактор – глубина поглощения поперек волокон. Использована лабораторная пропиточная установка с автоклавом, рабочее давление которого – до 20 атм. Маслянистый антисептик объемом 10 л нагревается трубчатыми электронагревателями до температуры 110 °С. Установка по своему назначению эквивалентна работе автоклава в цехе пропитки древесины. При разных режимах было пропитано 25 образцов шпал и 25 образцов столбов линий электропередач. Длительность процесса составляет от 2 до 4 ч. Нормированное содержание антисептика 19 % обеспечивается давлением 10–14 атм при продолжительности выдержки образцов 60 мин. Прогрев заготовки оказался наиболее влияющим на глубину поглощения фактором – как для шпал, так и для столбов. Показано, что нормальная глубина пропитки в случае применения в качестве антисептика каменноугольного масла достигается при температуре древесины не менее 70 °С, поскольку вязкость снижается в 2 раза. Для поглотительного масла такой зависимости не наблюдается, его вязкость мало зависит от температуры. Данную температуру следует рекомендовать для поглотительного и сланцевого масел, т. к. для предотвращения растрескивания древесины минимально допустимый перепад между температурой пропитываемого вещества (110 °С) и температурой древесины (70 °С) не должен превышать 40 °С. Из 6 антисептиков рекомендуемые для применения – каменноугольное, поглотительное, «Шубарколь комир» и антраценовое масла. Для них разработаны режимы пропитки шпал и опор линий

электропередач. При выдержке заготовок шпал и столбов в вакууме с разрежением 0,2 атм в течение 40 мин полностью исключается вытекание масла из заготовок после окончания пропитки.

Ключевые слова: пропитка древесины, шпала, столб линии электропередач, антисептик, маслянистый антисептик, масло каменноугольное, масло сланцевое

Для цитирования: Шамаев В.А., Медведев И.Н., Руссу А.В. Режимы пропитки сортиментов из древесины сосны маслянистыми антисептиками // Изв. вузов. Лесн. журн. 2023. № 6. С. 136–148. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-6-136-148>

Original article

Impregnation Regimes of Pine Wood Assortments with Oily Antiseptics

Vladimir A. Shamaev, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [Y-9044-2018](https://orcid.org/0000-0002-1762-7956),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1762-7956>

Ilya N. Medvedev, Candidate of Engineering; ResearcherID: [AAS-2731-2020](https://orcid.org/0000-0002-8214-3333),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8214-3333>

Alexander V. Russu[✉], Postgraduate Student; ResearcherID: [AAH-9550-2019](https://orcid.org/0000-0001-8525-0348),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8525-0348>

Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozova, ul. Timiryazeva, 8, Voronezh, 394036, Russian Federation; drevstal@mail.ru, medved-vrn82@mail.ru, arussu@mail.ru[✉]

Received on August 12, 2022 / Approved after reviewing on November 27, 2022 / Accepted on November 30, 2022

Abstract. Technological properties of oil impregnations used in the manufacture of sleepers and poles of power transmission lines made of soft hardwoods are investigated. The aim is to optimize the parameters of wood modification during the production of railway sleepers and poles of power transmission lines and to increase their service life. The analyzed factor is the absorption depth across the fibers. A laboratory impregnation unit with an autoclave with an operating pressure of up to 20 atm was used. The oily antiseptic in the volume of 10 liters is heated by tubular electric heaters up to the temperature of 110 °C. The installation by its purpose is equivalent to the work of autoclave in the wood impregnation shop. At different modes, 25 samples of sleepers and 25 samples of power transmission poles were impregnated. The duration of the process is from 2 to 4 hours. The standardized antiseptic content of 19 % is provided by the pressure of 10–14 atm at the duration of the samples holding time of 60 min. Heating of the workpiece turned out to be the most influential factor on the depth of absorption – both for sleepers and poles. It is shown that the normal depth of impregnation is provided at a wood temperature of at least 70 °C for coal oil, as its viscosity is halved. For absorbent oil such dependence is not observed, its viscosity depends little on temperature. This temperature should be recommended for absorbent and shale oils, as the minimum allowable difference between the temperature of the impregnating agent of 110 °C and the temperature of the wood of 70 °C should not exceed 40 °C to prevent cracking of the wood. Of the 6 options for antiseptics, the following oils are recommended for use: coal oil, absorbent oil, Shuberkol komir and anthracene oil. For them impregnation regimes for sleepers and power transmission line supports are developed. At exposure of sleepers and poles blanks in vacuum with 0.2 atm rarefaction during 40 min oil leakage from blanks after the end of impregnation is completely excluded.

Keywords: wood impregnation, sleeper, power line pole, antiseptic, oily antiseptic, coal oil, shale oil

For citation: Shamaev V.A., Medvedev I.N., Russu A.V. Impregnation Regimes of Pine Wood Assortments with Oily Antiseptics. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2023, no. 6, pp. 136–148. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2023-6-136-148>

Введение

Для обеспечения железнодорожных путей в СССР в 70-х гг. прошлого века был взят курс на замену сосновых шпал бетонными [10]. Производство деревянных шпал неуклонно сокращалось [16–18]. К 2018 г. оно уменьшилось с 6 млн до 600 тыс. шт./год. Из этого количества 400 тыс. шт. приходится на «Российские железные дороги», остальное – подъездные пути предприятий и метро. «Российские железные дороги» укладывают шпалы из сосны там, где нельзя положить бетонные: в районах Крайнего Севера, районах с резко континентальным климатом, болотистых районах [6, 14, 15].

В то же время в других странах, например в Китае и США, 90 % всех шпал выполнены из древесины твердых лиственных пород со сквозной пропиткой и гарантируемым сроком службы 50 лет [3, 9, 19]. Допустимая нагрузка на ось в этих странах – 9 т, в РФ – 18 т. Железобетонные шпалы в Европе, США, Японии и Канаде укладывают лишь на подъездных путях [1, 13, 20]. Курс на железобетонные шпалы на магистральных путях ошибочный, т. к. в середине XXI в., т. е. через 30–40 лет, произойдет массовый выход из строя железобетонных шпал по принципу «домино»: металлический каркас в шпале проржавел и полонка одной шпалы удваивает нагрузку на соседнюю, она ломается и так далее по цепочке процесс распространяется по всему полотну [7]. Парализация железнодорожных путей неизбежна, т. к. на замену шпал требуются годы [2, 4, 5].

Перспективным следует считать изготовление железнодорожных шпал, а также столбов линий электропередач (ЛЭП) из модифицированной древесины мягких лиственных пород, запасы которых в РФ неограниченны. Прочностные показатели такой древесины превышают показатели древесины твердых лиственных пород или равны им (ГОСТ 7–2004, 20022.0–2016) [8, 11, 12].

Цель – разработка режимов пропитки маслянистыми антисептиками древесины, используемой при производстве железнодорожных шпал и столбов ЛЭП, для увеличения срока их службы.

Объекты и методы исследования

В качестве сырья использовались заготовки древесины сосны. Заготовки для шпал имели сечение 100×100 мм, высоту 180 мм, плотность древесины 510 кг/м³ и количество годичных слоев на 1 см 4,4 шт. Заготовки для столбов ЛЭП характеризовались диаметром 130 мм, высотой 180 мм, плотностью древесины 495 кг/м³ и количеством годичных слоев на 1 см 2,7 шт. Для пропитки применялись каменноугольное масло производства «Мечел-Кокс», (г. Челябинск), сланцевое масло С1, смесь каменноугольного масла с 5%-м мыльным раствором, поглотительное и антраценовое (C₁₄H₁₀) масла. Часть экспериментов

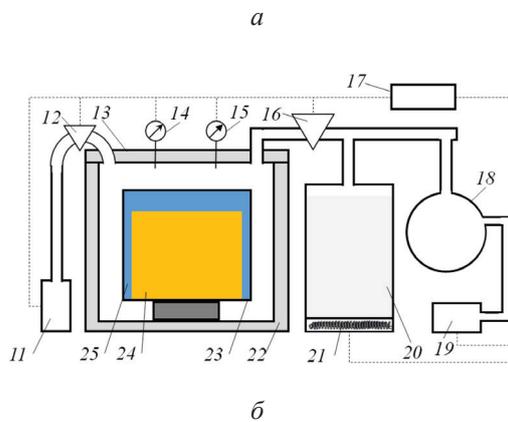
была проведена на каменноугольном масле производства «Шубарколь комир», (г. Караганда). Торцы всех образцов закрывались масляной краской, загущенной порошковым кремнеземом до состояния сметаны.

Для проведения экспериментов была создана лабораторная установка, позволяющая моделировать работу цеха пропитки древесины. Общий вид установки представлен на рис. 1, а, схема работы в режимах ВДВ (вакуум–давление) и ДДВ (давление–давление–вакуум) – на рис. 1, б. Технологические характеристики установки следующие:

Максимальное давление.....	25 атм
Максимальное разрежение.....	0,01 МПа
Объем рабочего автоклава.....	18 л
Объем маневрового автоклава.....	12 л
Объем ресивера.....	10 л
Режим пульта управления.....	ручной
Вакуум-насос.....	ВВН-3
Компрессор.....	УЛК 5/10
Количество загружаемых образцов.....	1
Общее время пропитки:	
минимальное.....	2,2 ч
максимальное.....	3,3 ч
Габариты установки.....	2,2×2,3×1,6 м
Масса.....	780 кг

Рис. 1. Экспериментальная установка пропитки заготовок шпал и столбов ЛЭП: а – общий вид; б – схема работы (1, 13 – крышка автоклава; 2, 19 – компрессор УЛК-5/10; 3, 17 – пульт управления; 4, 21 – трубчатые электронагреватели; 5, 20 – маневровый автоклав; 6, 15 – манометр; 7, 22 – рабочий автоклав; 8, 11 – вакуум-насос ВВН-3; 9, 14 – вакуумметр; 10, 18 – ресивер; 12 – вакуумный затвор; 16 – клапан сброса давления; 23 – рабочая емкость; 24 – заготовка древесины сосны; 25 – пропиточная жидкость)

Fig. 1. Experimental installation for impregnation of sleeper blanks and power line poles: а – general view; б – operating diagram (1, 13 – autoclave lid; 2, 19 – compressor ULK-5/10; 3, 17 – control panel; 4, 21 – tubular electric heaters; 5, 20 – shunting autoclave; 6, 15 – pressure gauge; 7, 22 – working autoclave; 8, 11 – vacuum pump VVN-3; 9, 14 – vacuum gauge; 10, 18 – receiver; 12 – vacuum seal; 16 – pressure relief valve; 23 – working tank; 24 – pine wood harvesting; 25 – impregnating liquid)



Установка для пропитки работает следующим образом. В автоклав загружается образец шпалы или столба ЛЭП, и автоклав закрывается крышкой. В маневровый автоклав заливается маслянистый антисептик в количестве 10 л и нагревается трубчатыми электронагревателями до температуры 110 °С. Вакуумным насосом в автоклаве создается разрежение до 0,01 МПа. В рабочий автоклав из маневрового автоклава заливается горячий антисептик, и включается компрессор, обеспечивающий давление до 20 атм. После окончания процесса давление сбрасывается и создается разрежение вакуум-насосом. Воздух с парами антисептика подается в ресивер. Управление процессом осуществляется с пульта. Длительность процесса составляет в зависимости от режима от 2 до 4 ч (ГОСТ 20022.5–93, 20022.7–82, 20012.0–82).

Было принято 3 режима пропитки: режим *A* – масло «Мечел-Кокс», давление 8–12 атм; режим *B* – масло «Мечел-Кокс», давление 18–20 атм; режим *C* – поглотительное масло, давление 8–12 атм. Во всех 3 вариантах температура проведения процесса составляла 90 °С.

После пропитки образцы извлекаются из автоклава, взвешиваются и раскалываются по волокну на 2 равные части по диаметру или центру, как показано на рис. 2, и штангенциркулем измеряется глубина пропитанной зоны поперек волокон. Всего с использованием разных режимов было пропитано 25 образцов шпал и 25 образцов столбов ЛЭП (ГОСТ 20022.14–84, 20022.13–81, 56879–2016).

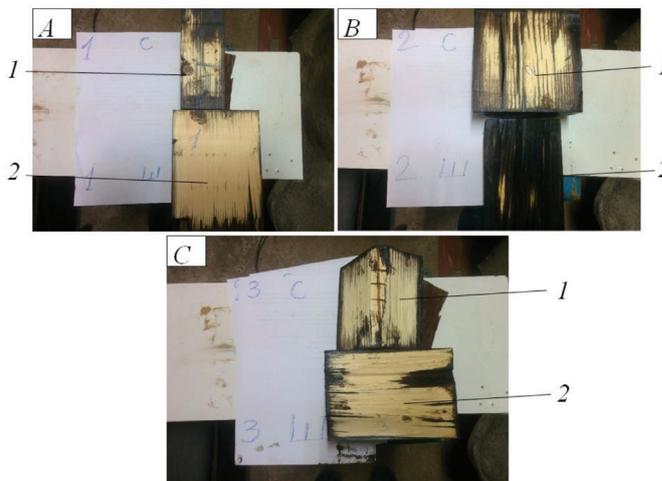


Рис. 2. Образцы шпал (2) и столбов ЛЭП (1) после пропитки в соответствии с режимами *A*, *B*, *C* и раскалывания пополам в середине образца

Fig. 2. Samples of sleepers (2) and power line poles (1) after impregnation in accordance with modes *A*, *B*, *C* and splitting in half in the middle of the sample

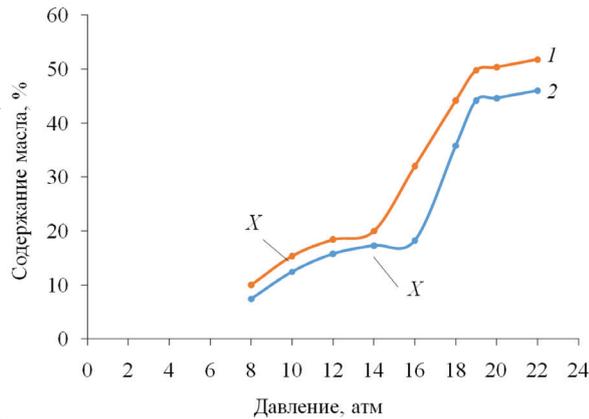
Результаты исследования и их обсуждение

Эксперименты на каменноугольном масле «Мечел-Кокс». В качестве анализируемого фактора принята глубина поглощения поперек волокон, мм. Содержание антисептика во всех случаях составила 80–90 кг/м³, давление – 8–12 атм. С увеличением давления до 18–20 атм происходила пропитка образ-

цов не только поперек волокон, но и преимущественно с торца, т. е. торцовое перекрытие краской не выдерживало больших давлений и пропитка получалась сквозной, что наглядно видно из рис. 2. Тем не менее зависимость поглощения от давления была изучена, что иллюстрирует рис. 3. Как следует из рисунка, нормированное содержание антисептика 19 % обеспечивается давлением 10–14 атм при продолжительности выдержки 60 мин. Поэтому во всех остальных экспериментах максимальное давление принято 12 атм.

Рис. 3. Зависимость содержания каменноугольного масла в шпалах (1) и столбах (2) от давления. Точка X соответствует нормативному содержанию масла (90 кг/м³)

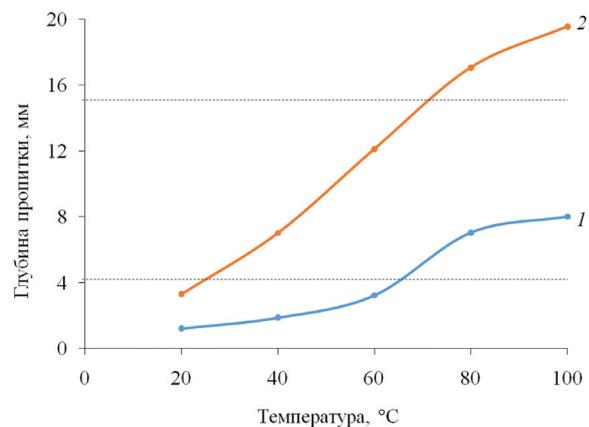
Fig. 3. Dependence of the content of coal oil in sleepers (1) and posts (2) on pressure. Point X corresponds to the standard oil content (90 kg/m³)



На рис. 4 представлена зависимость глубины поглощения от температуры древесины после прогрева. Этот показатель – наиболее влияющий фактор как для шпал, так и для столбов. Рисунок показывает, что нормальная глубина пропитки обеспечивается при температуре древесины не менее 70 °С, причем эта температура является оптимальной и для шпал, и для столбов. Прогрев до температуры свыше 80 °С является нецелесообразным. Причина в том, что при температуре 70 °С вязкость каменноугольного масла падает почти в 2 раза и оно легко проникает в древесину. Для поглощительного масла такой зависимости не наблюдается, его вязкость мало зависит от температуры. Тем не менее эту же температуру следует рекомендовать для поглощительного и сланцевого масел, т. к. минимально допустимый перепад между температурой пропитывающего вещества (110 °С) и температурой древесины (70 °С) не должен превышать 40 °С, иначе древесина растрескивается.

Рис. 4. Зависимость глубины пропитки каменноугольным маслом от температуры древесины: 1 – шпалы; 2 – столбы. Пунктирными линиями (здесь и на рис. 5) обозначено нормативное содержание антисептика

Fig. 4. Dependence of impregnation depth on wood temperature: 1 – sleepers; 2 – poles. The dotted line (here and in Fig. 5) corresponds to the standard content of antiseptic



На рис. 5, *а* показана зависимость глубины поглощения от продолжительности выдержки под давлением. Как видно из рисунка, оптимальное время выдержки для шпал и столбов составляет 30 мин, причем эта зависимость близка к линейной. На рис. 5, *б* представлена зависимость глубины поглощения от остаточного давления в автоклаве, атм, при продолжительности выдержки 40 мин. Как следует из рисунка, нормативная глубина поглощения начинается для шпал с 0,5 атм, для столбов – с 0,4 атм. Тем не менее стабильные результаты по глубине поглощения обеспечиваются при вакууме 0,3 атм. Если снизить продолжительность пребывания в вакууме с 40 до 20 мин, то нормированная глубина поглощения для шпал достигается при разрежении 0,1 атм, для столбов – 0,2 атм.

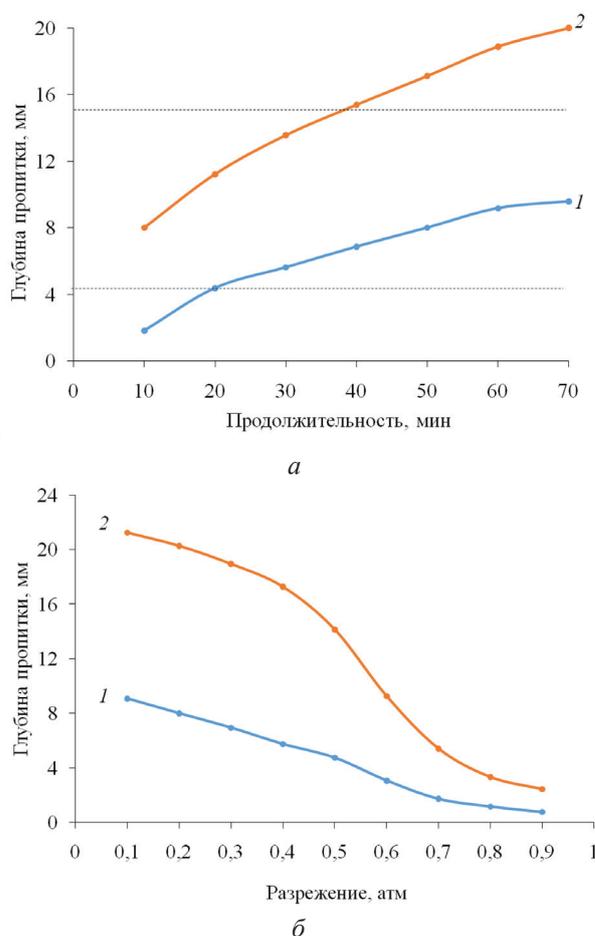


Рис. 5. Зависимость глубины пропитки каменноугольным маслом: *а* – от времени выдержки под давлением; *б* – от глубины разрежения (вакуума): 1 – шпалы; 2 – столбы

Fig. 5. Dependence of coal oil impregnation depth: *a* – on the holding time under pressure; *b* – on the depth of rarefaction (vacuum): 1 – sleepers; 2 – poles

Интересно отметить, что, судя по рис. 4 и 5, общее поглощение масла для заготовок столбов значительно выше, чем для заготовок шпал. Это объясняется присутствием в заготовках столбов заболонной зоны с большим впитыванием масла по сравнению с ядровой зоной.

Эксперименты на поглотительном, антраценовом и сланцевом маслах, каменноугольном масле «Шубарколь комир» и смеси масла с мыльной водой 1:1. Для пропитки образцов шпал был принят следующий режим: прогрев заготовок в термокамере до температуры 70 °С;

вакуумирование заготовок при глубине вакуума 0,2 атм в течение 20 мин;
впуск масла, поднятие давления до 8 атм, выдержка под давлением в течение 40 мин;

сброс давления, выдержка на складе 10 дн.

Керны по глубине пропитки брались на расстоянии 10 мм от торца образца и в центре.

Образцы опор ЛЭП пропитывались при такой последовательности действий:

прогрев заготовок до температуры 70 °С в термошкафу;

создание в автоклаве предварительного давления 1,5 атм, выдержка под давлением на протяжении 15 мин;

впуск масла, подъем давления до 8 атм, выдержка под давлением в течение 20 мин;

сброс давления, вакуумирование при разрежении 0,2 атм в течение 10 мин;

сброс вакуума, выдержка на складе 10 дн.

Результаты пропитки образцов шпал и столбов поглотительным маслом представлены в табл. 1.

Таблица 1

Глубина пропитки шпал и столбов ЛЭП поглотительным маслом, мм

**Depth of impregnation of sleepers
and power transmission line poles with absorbing oil, mm**

Номер керны	Шпалы		Столбы	
	Торец	Середина	Торец	Середина
1	7	5	41	38
2	8	9	27	34
3	6	12	40	45
4	9	8	36	40
5	9	7	28	40
6	–	17	30	31
7	–	10	25	36
8	–	10	39	29
9	–	3	33	22
10	–	3	33	29
<i>Среднее</i>	<i>7,7</i>	<i>8,5</i>	<i>33,2</i>	<i>34,4</i>

Примечание: Среднее поглощение для шпал – 80 кг/м³; для столбов – 92 кг/м³.

Как видно из табл. 1, наблюдается значительный разброс результатов по глубине пропитки для шпал. Показания керны № 6 – 17 мм, – наверняка, относятся к заболони. В целом можно отметить, что при нормативной глубине пропитки для столбов ЛЭП 25,3 мм есть небольшое превышение, а при нормативной глубине пропитки для шпал 5 мм оно составляет в среднем 1,5 раза.

В табл. 2 приведены результаты пропитки образцов шпал и столбов ЛЭП маслами «Шубарколь комир» и сланцевым. Масло «Шубарколь комир» дало хорошие результаты по всем показателям и может быть рекомендовано к использованию. Результат применения сланцевого масла с точки зрения глубины пропитки и поглощения неудовлетворителен как для шпал, так и для столбов.

Таблица 2

**Глубина пропитки и поглощение масла «Шубарколь комир»
и сланцевого масла (среднее по 6 опытам)**

**Impregnation depth and absorption of Shuberkol komir oil
and shale oil (average for 6 experiments)**

Изделие	Глубина пропитки маслом, мм		Поглощение масла, кг/м ³		Поглощение масла, кг/м ³ в пересчете на стандартные размеры шпал и столбов ЛЭП	
	«Шубарколь комир»	сланцевое	«Шубарколь комир»	сланцевое	«Шубарколь комир»	сланцевое
Образцы шпал	5,5	0,5	95	22	37	8,5
Образцы столбов	15,9	2,2	125	35	60	17,0
Шпалы*	7,0	0,5	95	22	–	–
Столбы*	17,0	2,5	125	35	–	–

* После 14 дн. выдержки на складе.

В экспериментах использовалась смесь каменноугольного масла и водного 5%-го раствора технического мыла в соотношении 1:1. Результаты для смеси, а также антраценового и поглотительного масел приведены в табл. 3.

Таблица 3

Глубина пропитки и поглощение масел (среднее по 6 опытам)

Impregnation depth and oil absorption (average for 6 experiments)

Антисептик	Глубина пропитки, мм		Поглощение, кг/м ³	
	Шпалы	Столбы	Шпалы	Столбы
Антраценовое масло	5,5	15,9	95	125
	7,0	17,0		
Поглотительное масло	5,5	19,2	88	105
	5,9	19,9		
Смесь каменноугольного масла и мыльного раствора 1:1	3,0	13,0	72	108
	3,5	13,5		

Примечание: В нижней части строки приведено значение показателя после 14 дн. выдержки на складе.

Как видно из табл. 3, для смеси масла с водой результаты близки к требуемым, но выявились следующие недостатки: через 5–6 ч смесь расслаивалась и выпадал осадок студенистого вида, который при перемешивании не растворялся; на трубах и в насосе появились пятна ржавчины, что требовало дополнительного промыва системы чистым маслом. В связи с этим рекомендуется вместо мыльного водного раствора использовать смесь маслянистого антисептика с отработанным машинным маслом, прошедшим обязательное фильтрование.

Для всех масел, как показывают табл. 2, 3, наблюдался эффект «допропитки», когда через 10–14 дн. хранения на складе глубина пропитки увеличивалась на 0,5–1,5 мм.

Результаты для поглотительного и сланцевого масел аналогичны результатам для каменноугольного масла «Мечел-Кокс» – расхождение не превышало 5 %.

Оптимизация технологических режимов. Таким образом, из всех 6 вариантов антисептиков рекомендуются к применению следующие масла: каменноугольное, поглотительное, «Шубарколь комир» и антраценовое. Разработаны режимы пропитки ими шпал и столбов ЛЭП, представленные в табл. 4.

Таблица 4

Рекомендуемые параметры для пропитки шпал (режим ВДВ) и столбов ЛЭП (режим ДДВ) маслянистыми антисептиками по данным лабораторных экспериментов

Recommended parameters for impregnation of sleepers (VDV mode) and power line poles (DDV mode) with oily antiseptics according to the data of laboratory experiments

Параметр	Масло			
	каменноугольное	поглотительное	«Шубарколь комир»	антраценовое
<i>Шпалы</i>				
Температура древесины при прогреве заготовок, °С	60	55	50	45
Глубина вакуума при вакуумировании заготовок, атм	0,2			
Продолжительность вакуумирования, мин	40			
Давление пропитки, атм	8			
Продолжительность выдержки под давлением, мин	80	90	100	110
Глубина разрежения при вакуумировании, атм	0,2			
Продолжительность выдержки под вакуумом, мин	40			
<i>Столбы ЛЭП</i>				
Температура древесины при прогреве заготовок, °С	55	50	45	40
Предварительное давление, атм	2	1,5		
Продолжительность выдержки под предварительным давлением, мин	20			
Конечное давление, атм	8			
Продолжительность выдержки под конечным давлением, мин	40	50	60	70
Глубина разрежения при вакуумировании, атм	0,2			
Продолжительность выдержки под вакуумом, мин	40			

Поскольку различие в режимах небольшое, было принято решение разработать универсальные (усредненные) параметры для всех масел при пропитке шпал (режим ВДВ) и столбов ЛЭП (режим ДДВ).

Для шпал:

Температура древесины при прогреве заготовок.....	70–80 °С
Глубина вакуума при вакуумировании заготовок.....	0,2 атм
Продолжительность вакуумирования.....	40 мин
Давление пропитки.....	8–12 атм
Продолжительность выдержки под давлением.....	60 мин
Глубина разрежения при вакуумировании.....	0,2 атм
Продолжительность выдержки под вакуумом.....	40 мин

Для столбов:

Температура древесины при прогреве заготовок.....	70 °С
Предварительное давление.....	2 атм
Продолжительность выдержки под предварительным давлением.....	20 мин
Конечное давление.....	8 атм
Продолжительность выдержки под конечным давлением.....	40 мин
Глубина разрежения при вакуумировании.....	0,2 атм
Продолжительность выдержки под вакуумом.....	40 мин

Эти результаты согласуются с оптимизированными значениями технологических параметров, полученными другими исследователями [2].

Продолжительность прогрева заготовок, указанная нами (20 мин), подходит для малых образцов, для промышленных продолжительность этого процесса должна определяться экспериментально. По предварительным расчетам, она составит от 80 до 120 мин при количестве циклов перекачки масла – 2–3.

При выдержке заготовок шпал и столбов в вакууме с разрежением 0,2 атм в течение 40 мин полностью исключается вытекание масла из заготовок после окончания пропитки.

При использовании в качестве маслянистого антисептика поглотительного масла необходимо учитывать, что его вязкость на 20 % меньше, чем каменноугольного. Однако наличие в молекулах поглотительного масла гидроксильных групп ведет к образованию в древесине физических связей гидроксильных групп целлюлозы с гидроксильными группами молекул поглотительного масла, как следствие, движение масла внутри древесины значительно замедляется. Поэтому продолжительность выдержки под давлением, указанную в табл. 4 для поглотительного масла, необходимо увеличить в 2 раза: для шпал она составляет 120 мин, для столбов ЛЭП – 80 мин.

Выводы

1. Разработанные технологические параметры позволяют получать в лабораторных условиях заготовки шпал с глубиной не менее 5 мм поперек волокон и нормой поглощения 80–90 кг/м³ и столбов линий электропередач с глубиной пропитки 15 мм и нормой поглощения 90–100 кг/м³.

2. При разработке промышленных режимов длительность процессов изменяется в сторону увеличения продолжительности прогрева, пропитки и вакуумирования.

3. Из испытанных антисептиков рекомендуются каменноугольное масло, поглощающее масло и масло «Шубарколь комир». Для них оптимальные режимы одинаковы и для шпал, и для столбов линий электропередач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Alizadeh M., Yousefian K., Zakeri J.A. Numerical and Experimental Investigation into Longitudinal Resistance of Ballasted Railway Track with Wooden Sleepers. *Construction and Building Materials*, 2022, vol. 350, art. 128880. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128880>

2. Bae Y.H., Kim J., Hyun B.J., Lee I.W. Investigation of Flexural Stiffness and Strength of Wooden Sleeper to Establish Performance Requirements of Plastic Sleeper. *Journal of the Korean Society for Railway*, 2020, vol. 23, iss. 9, pp. 821–836. <https://doi.org/10.7782/jksr.2020.23.9.821>

3. Esmacili M., Majidi-Parast S., Hosseini A. Comparison of Dynamic Lateral Resistance of Railway Concrete, Wooden and Steel Sleepers Subjected to Impact Loading. *Road Materials and Pavement Design*, 2019, vol. 20, iss. 8, pp. 1779–1806. <https://doi.org/10.1080/14680629.2018.1468804>

4. Fast D.A., Shramenko V.P., Starukh O.S., Ivanchenko O.V., Strachnyi I.L. Simulation of Performance of Subway Wooden Sleepers and Determination of Their Tense State Using Lira Software Complex. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 708, iss. 1, art. 012006. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/708/1/012006>

5. Itoi K., Nagamine N., Gouda W., Tsubokawa Y., Kato S. Improving Inspection Accuracy of Wooden Sleeper Deterioration Analysing Forward View Image from Train Cab. *The Proceedings of the Transportation and Logistics Conference*, 2021, vol. 30. <https://doi.org/10.1299/jsmetld.2021.30.ss2-4-5>

6. Kosmin V.V. Highways and Railways in the Updated Transport Strategy of the Russian Federation. *Transport Technician: Education and Practice*, 2022, vol. 3, iss. 1, pp. 80–87. <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2022.1.80-87>

7. Markulik Š., Petrik J., Šolc M., Blaško P., Palfy P., Sütőová A., Girmanová L. Analysis of Fault Conditions in the Production of Prestressed Concrete Sleepers. *Applied Sciences*, 2022, vol. 12, iss. 2, art. 928. <https://doi.org/10.3390/app12020928>

8. Medvedev I., Parinov D., Shamaev V. Continuous Impregnation of Wood from the end Face Under Pressure With Various Compositions. *Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference “Modern Machines, Equipment and IT Solutions for Industrial Complex: Theory and Practice”*, FSBE Institution of Higher Education Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 2021. https://doi.org/10.34220/mmeitsic2021_245-249

9. Minghui W., Jian W., Qiao Z. Intelligent Integral Improvement Technology of Double Block Sleeper Production Line of Zheng-Wan High-Speed Railway. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 455, iss. 1, art. 012137. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/455/1/012137>

10. Parinov D., Medvedev I., Shamaev V. Economic Justification of the Organization of Production of Power Transmission Poles from Modified Wood. *Materials of the International Scientific and Practical Conference “Green Economy: Iforest”*, FSBE Institution of Higher Education Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 2022. https://doi.org/10.34220/zeif2022_86-90

11. Parinov D., Medvedev I., Shamaev V. Resource-Saving Technology for the Production of Power Line Poles from Soft Hardwood. In *Proceedings of the All-Russian scientific and technical conference "Environmental and resource-saving technologies in science and technology"*, FSBE Institution of Higher Education Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 2022. https://doi.org/10.34220/erstst2021_159-163
12. Shamaev V.A., Dornyak O.R., Medvedev I.N., Russu A.V., Garkusha O.S. Stabilization of Shapes and Dimensions of Compressed Wood Using Chemical and Physical Methods. *E3S Web of Conferences*, 2023, vol. 390, art. 5044. 11 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339005044>
13. Starck M., Heidel A., Brischke C., Militz H. Incising and Double Impregnation of Beech Sleepers-Investigation of an Alternative Preservation System for Wooden Railway Sleepers. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2022, vol. 5. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.814049>
14. Svatovskaya L., Shershneva M.V., Savelyeva M.Y. Geocoprotective Technologies of Storage of Used Wooden Sleepers. *Procedia Engineering*, 2017, vol. 189, pp. 605–609. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.096>
15. Teng Z. Trends in Development of Chinese-Russian Relations in the Field of Railway Transport. *World of Transport and Transportation*, 2023, vol. 21, iss. 1, pp. 40–48. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-1-5>
16. Tuley Y., Bugaets N., Malishevskaya A. Research into Parameters of Energy Loss When Trains Influence the Track with Wooden Sleepers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, vol. 6, iss. 1, no. 84, pp. 9–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85851>
17. Vilniškis R., Vaiškūnaitė R. Complex Contamination Research and Hazard Assessment of the Waste of the Wooden Railway Sleeper. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 2018, vol. 13, iss. 4, pp. 385–403. <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2018-13.424>
18. Vilniškis R., Vaiškūnaitė R. Research and Evaluation of the Aromatic Hydrocarbons in the Polluted Wooden Railway Sleepers. *Proceedings of 10th International Conference "Environmental Engineering"*, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania, 2017. <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.060>
19. Wojciechowski A., Doliński A., Radziszewska-Wolińska J.M., Wołosiak M. Environmentally Friendly Recycling of Wooden Railway Sleepers. *Problemy Kolejnictwa. Railway Reports*, 2018, no. 181, pp. 139–146. <https://doi.org/10.36137/1818e>
20. Yasuno T., Okano M., Fujii J. Wooden Sleeper Deterioration Detection for Rural Railway Prognostics Using Unsupervised Deeper FCDDs. ArXiv, 2023. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.05103>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest

Вклад авторов: Все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article