

УДК 674.028.9

**ПРОЧНОСТЬ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ
ДРЕВЕСИНЫ НА ОСНОВЕ
ЭЛЕКТРООБРАБОТАННЫХ КЛЕЕВ**

Мозговой Николай Васильевич
д. т. н., профессор
*Воронежская государственная лесотехническая
академия, Воронеж, Россия*

В статье рассматривается проблема создания клеевых соединений древесины повышенной прочности, путем применения клеев, подвергнутых электрической обработке. Изучается влияние на когезионную и адгезионную прочность соединений на клеях смачиваемости древесины и вязкости клеев, подвергнутых воздействию электрическим полем

Ключевые слова: КЛЕЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, ДРЕВЕСИНА, КЛЕЙ, ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ, НАПРЯЖЕННОСТЬ ПОЛЯ, ПРОЧНОСТЬ

UDC 674.028.9

**STRENGTH OF ADHESIVE JOINTS OF WOOD
ON THE BASIS OF ELECTRICALLY TREATED
GLUES**

Mozgovoy Nikolay Vasilyevich
Dr.Sci.Tech., professor
*Voronezh State Academy of Forestry and
Technologies, Voronezh, Russia*

The article considers the problem of creating of wood adhesive joints of high strength, through the use of adhesives, which were subjected to electrical treatment. We study the effect on the cohesive and adhesive strength of the joints on glues on the wet ability of wood adhesives and adhesive viscosity, exposed to electric field treatment

Keywords: ADHESIVE JOINTS, WOOD, GLUE, ELECTRIC FIELD, FIELD INTENSITY, STRENGTH

В специальной литературе по технологии склеивания различных материалов [1,2] принято считать, что в зависимости от свойств соединения и условий эксплуатации разрушение клеевых соединений может проходить по клею (когезионное разрушение) и по границе между клеем и склеиваемым материалом (адгезионное разрушение). Отсюда различают когезионную и адгезионную прочность клеевого соединения. Подобная классификация характерна и для клееной древесины [3,4]. Многочисленными исследованиями установлено, что на прочность клеевого соединения древесины в целом превалирующее влияние оказывает адгезионная прочность, которая в свою очередь зависит от значительного числа факторов.

Для создания прочного клеевого соединения необходимо активное взаимодействие поверхности древесины с клеем. В том случае, когда клей хорошо смачивает поверхность, то контакт между ними становится наиболее полным.

На полноту смачивания древесиной поверхности и величину сцепления с ней клея влияет микрогеометрия поверхности [5]. С одной стороны,

прочность клеевых соединений снижается с ростом микронеровностей за счет ухудшения заполнения впадин неровностей клеем. С другой стороны, придание поверхности шероховатости имеет положительный эффект за счет увеличения площади контакта склеиваемых поверхностей. Существенное влияние на прочность клеевых соединений оказывает начальная влажность древесины. Повышение влажности древесины требует интенсивной сушки, которая приводит к образованию внутренних напряжений, снижающих прочность соединений.

Особое влияние оказывает вязкость клея. Высокая вязкость клея приводит к образованию пустот в клеевой прослойке, что снижает прочность соединения. Применение клея низкой вязкости сопровождается глубоким проникновением клея в древесину, что провоцирует образование «холодного» шва, обычно пониженной прочности.

В условиях горячего склеивания температура существенно влияет на прочность соединения. При росте температуры повышается пластичность древесины, отчего улучшается смачивание поверхностей и растекание клея. Повысить прочность клеевого соединения можно также применением рационального давления прессования, когда уменьшается вероятность непосредственного контакта склеиваемых поверхностей.

На прочность склеивания также влияет порода древесины. Установлено, что повышение плотности древесины ведет к увеличению прочности клеевого шва.

Проведенный анализ мероприятий по повышению прочности клеевых соединений древесины свидетельствует о достаточной сложности реализации этой задачи. Здесь многие факторы накладываются друг на друга, что приводит часто к негативным последствиям. Открытым также остается вопрос одновременного повышения адгезионной и когезионной прочности. Отсюда напрашивается вывод о перспективности решения комплексной задачи повышения в целом прочности клеевых соединений древесины пу-

тем организации более совершенной ориентации макромолекул полимерной основы клея и большей энергии их взаимодействия с поверхностью древесины. Если обратиться непосредственно к исследованиям в области физхимии полимеров [6-8], то видно, что наиболее эффективным направлением решения проблемы получения высокопрочных клеевых соединений древесины являются методы модификации структуры и свойств полимеров путем воздействия физическими и, в частности, электрическими полями.

Для изучения вопроса о влиянии электрического поля на смачиваемость древесной поверхности клеем и вязкость клея, подвергнутого воздействию электрическим полем, использовалась высоковольтная установка, принципиальная схема которой приведена на рис.1.

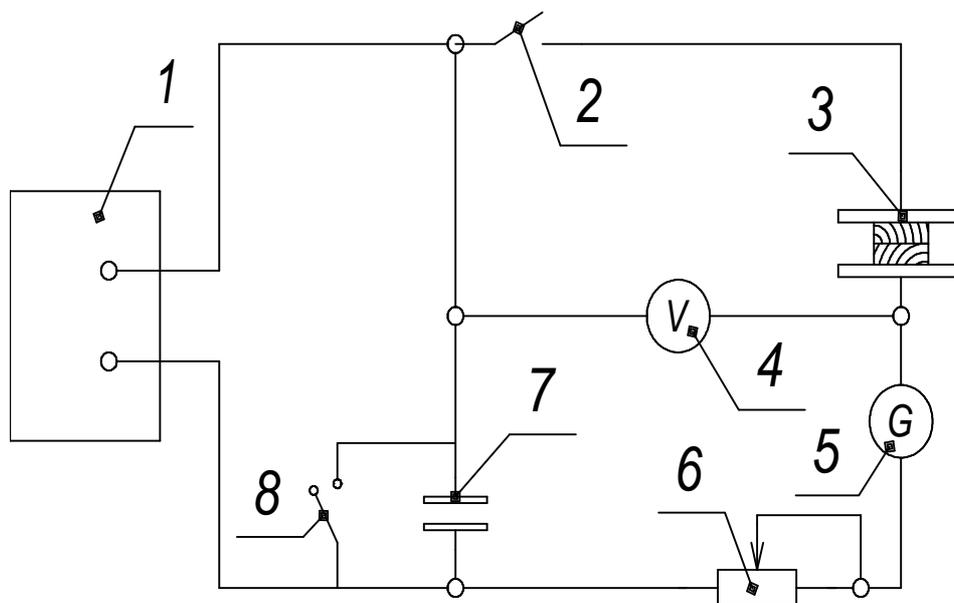


Рисунок 1. Схема высоковольтной установки для обработки клея в электрическом поле: 1 – высоковольтный выпрямитель; 2 – выключатель; 3 – рабочая ячейка с кюветой; 4 – вольтметр; 5 – гальванометр; 6 – магазин сопротивлений; 7 – батарея конденсаторов; 8 – разрядник.

В состав установки входит рабочая ячейка 3, имитирующая обкладки конденсатора. Между обкладками рабочей ячейки помещается кювета с

клеем или склеиваемый образец, который после обработки электрическим полем и отверждения клеевой прослойки испытывается на прочность. Напряженность электрического поля E изменяется в пределах от 0 до 2000 В/см варьированием расстояния между обкладками рабочей ячейки или с помощью магазина сопротивлений 6. Электрический ток от сети проходит через высоковольтный выпрямитель 1, представляющий собой повышающий трансформатор с каскадом выпрямителей. Батарея конденсаторов 7 выполняет функции накопителя электрической энергии во время прохождения электрического тока через выпрямители к рабочей ячейке и разряда при закрытых диодах выпрямителя. Таким образом, между обкладками рабочей ячейки создается постоянное электрическое поле.

Операция по обработке клея в электрическом поле проводилась следующим образом. Полимерный компонент клея в фторопластовой кювете помещался между обкладками в рабочей ячейке и подвергался воздействию электрическим полем заданной напряженности и температуры, создаваемой нагревательным элементом. Обработанный таким способом полимерный компонент исследуемого клея после введения отвердителя испытывался затем на смачивание и растекание по поверхности древесины, а также вязкости и сравнивался с клеем, не подвергнутым обработке.

Принимая во внимание основные положения по адгезии твердых тел [9], можно предполагать что, повышение адгезионной прочности клеевых соединений древесины при обработке клея в электрическом поле объясняется увеличением молекулярных, электрических, диффузионных и других адгезионных связей.

Процессы смачивания и растекания жидкости по поверхности твердого тела определяются адгезионными силами, а также свободной энергией поверхности системы твердое тело - жидкость - газ. Действие сил поверхностного натяжения на каплю жидкости на поверхности твердого тела можно проиллюстрировать.

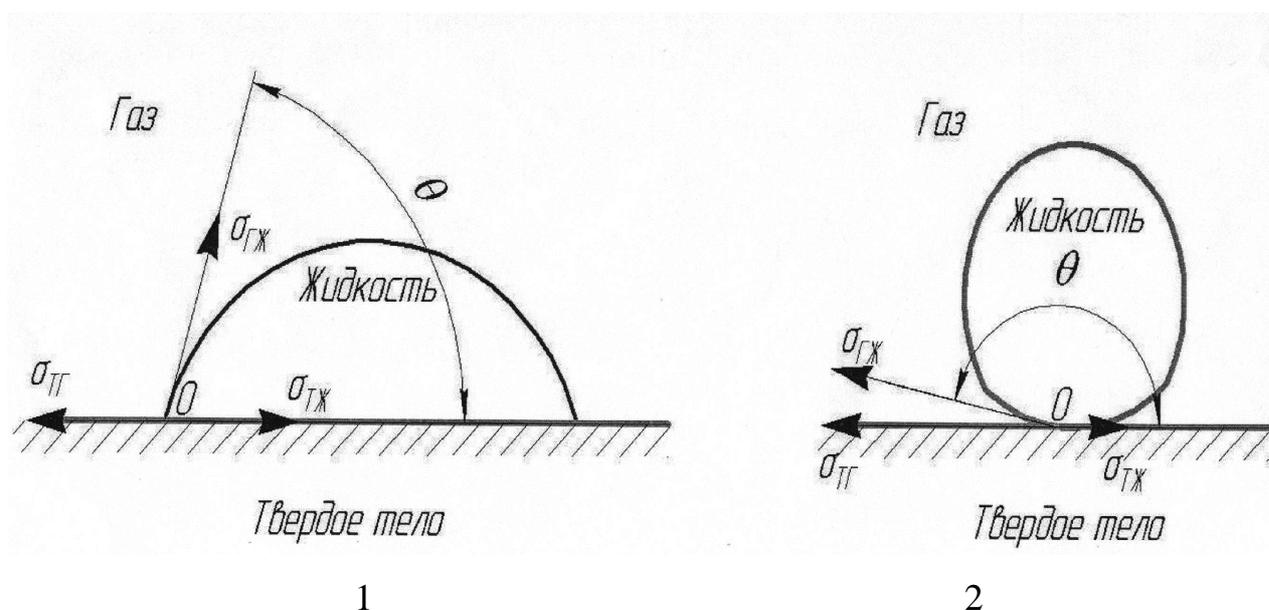


Рисунок 2. Действие сил поверхностного натяжения на каплю жидкости на поверхности твердого тела: 1 – жидкость смачивает поверхность; 2 – жидкость не смачивает поверхность

Из рисунка 2 видно, что тангенциально к поверхности действуют три силы. Поверхностное натяжение тела на границе с газом (вектор $s_{Т.г.}$) растягивает каплю. Поверхностная энергия на границе твердого тела с жидкостью (вектор $s_{Т.ж.}$) направлена в противоположном направлении. И свободная поверхностная энергия жидкости на границе с газом стремится собрать каплю (вектор $s_{ж.г.}$). Этот вектор действует в направлении по касательной к поверхности капли, образуя с поверхностью твердого тела угол q , который называется краевым углом смачивания.

Система приобретает равновесие, когда

$$s_{Т.г.} = s_{Т.ж.} + s_{ж.г.} \cos q \tag{1}$$

и жидкость растекается по поверхности при условии, что

$$s_{Т.г.} > s_{Т.ж.} + s_{ж.г.} \cos q \tag{2}$$

Из последнего неравенства видно, что растекание интенсифицируется с ростом $s_{Т.г.}$ и понижением $s_{Т.ж.}$ и $s_{ж.г.}$. Отсюда же можно видеть, что

величина краевого угла смачивания количественно характеризует способность жидкости растекаться и смачивать поверхность тела.

Работа адгезии находится как разность между суммой свободных поверхностных энергий поверхностей раздела и свободной поверхностной энергии на границе твердого тело – жидкость.

$$W_{Т.ж} = s_{Т.г.} + s_{ж.г.} - s_{Т.ж.} \quad (3)$$

Подставив в (3) значение $s_{Т.ж.}$ из условия равновесия капли на поверхности твердого, получаем формулу Дюпре.

$$W_{Т.ж} = s_{ж.г.} (1 + \cos q) \quad (4)$$

Для постоянного значения $s_{ж.г.}$ адгезия жидкости к твердому телу, т.е. смачивание твердого тела, описывается величиной краевого угла q . Из вышеизложенного видно, что чем меньше угол q , тем больше адгезия жидкости к твердому телу (в нашем случае клея к древесине) и лучше растекание.

Для исследования влияния электрического поля на смачиваемость поверхности древесины клеем использовалось устройство, состоящее из рабочей ячейки в виде бруска березы с нанесенным на его поверхность каплей обработанного в электрическом поле или необработанного клея марки КФЖ. Капля сбоку освещалась от светового источника и ее силуэт изображался на экране в виде миллиметровой бумаги. Для вычисления краевого угла замерялись высота капли и ее основание. Затем находился тангенс угла и с помощью таблицы тригонометрических величин значение краевого угла.

Анализ полученных фотоснимков свидетельствует о том, что при одинаковом времени фиксации краевого угла его значение у обработанного клея меньше ($34^{\circ}13'$), чем у необработанного ($39^{\circ}47'$). Отсюда можно сделать вывод, что обработка клея в электрическом поле улучшает смачи-

вание и растекание клея по поверхности древесины и соответственно повышает адгезионную прочность клеевого соединения [10].

Согласно адсорбционной теории адгезии повышение адгезионной прочности клеевого соединения достигается накоплением полярных групп полимерного компонента клея, уменьшением молекулярной массы, повышением подвижности цепей. Изменение химической природы полимерной основы клея приводит к изменению его вязкости, а точнее к ее снижению.

Из специальной литературы, посвященной склеиванию древесины [3], следует, что вязкость клея оказывает существенное влияние на формирование клеевого соединения древесины и на его прочностные характеристики. Как отмечалось выше, высокая вязкость клея негативно влияет на прочность клеевых соединений. В этом случае в клеевом шве образуются пустоты, снижающие адгезионное взаимодействие и увеличивающие внутренние напряжения клеевых соединений. Для снижения вязкости клея применяют различного рода растворители или нагревают клей. Исходя из механизма воздействия электрического поля на клей, можно ожидать снижения его вязкости. Для изучения влияния постоянного электрического поля на вязкость клея проводились исследования клея марки КФ–МТ–15. Для этих целей использовался вискозиметр ВЗ–4, на котором испытывались обработанная в электрическом поле и необработанная смола клея КФ–МТ–15. Операция по исследованию вязкости испытуемой смолы проводилась в следующем порядке.

При закрытом сопле вискозиметра заполнялся смолой стакан, причем излишки смолы удалялись через специальный желоб. После того, как из стакана выходили воздушные пузырьки, открывалось отверстие вискозиметра, и включался секундомер. Время полного истечения смолы в виде непрерывной струи замерялось секундомером и составляло вязкость по вискозиметру ВЗ–4. За конечный результат принималось среднее арифметическое трех замеров.

Проводились две серии опытов по исследованию вязкости. В первой серии опытов исследовалось влияние напряженности электрического поля на вязкость смолы клея, а во второй серии исследовалось время сохранения эффекта воздействия электрическим полем на смолу. Для первой серии исследований смола обрабатывалась в электрическом поле различной напряженности и вязкость замерялась непосредственно после электрообработки, а для второй серии исследований использовалась смола, которая обрабатывалась в электрическом поле максимальной напряженности ($E = 1500 \text{ В/см}$).

Полученные в процессе исследований результаты в виде зависимости вязкости клея t от напряженности электрического поля E приведены на рис.3.

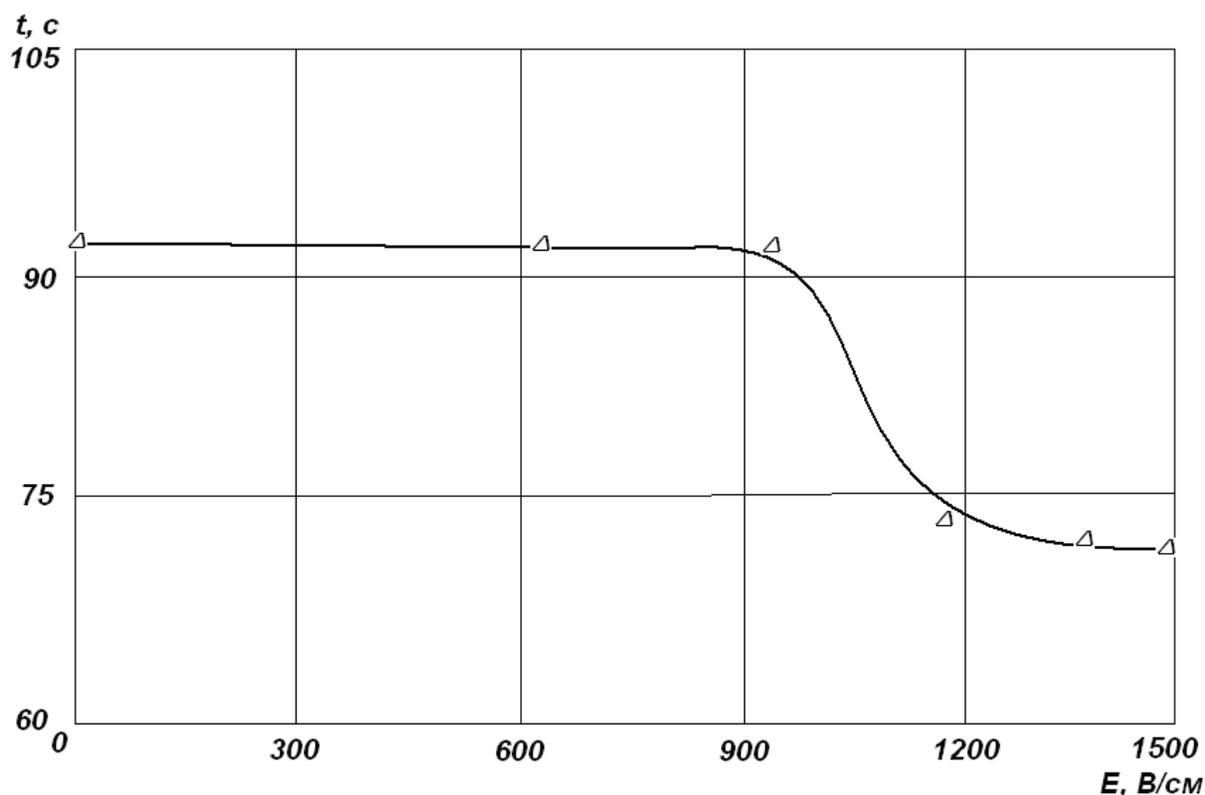


Рисунок 3. Зависимость вязкости клея марки КФ–МТ–15 от напряженности электрического поля

Анализ данных рис.3 показывает, что обработка клея в электрическом поле значительно снижает его вязкость.

Установленный эффект снижения вязкости полимерного клея под воздействием постоянного электрического поля открывает перспективу практического применения способа на деревообрабатывающих предприятиях вместо энергоемкого и неустойчивого термического способа. Заслуживает положительной оценки и присущее этому способу продолжительное сохранение вязкости электрообработанного клея и возможность варьировать заданными значениями вязкости клея. Информация об изменении вязкости клея КФ – МТ–15 от времени выдержки представлена по результатам специальных исследований на рис.4.

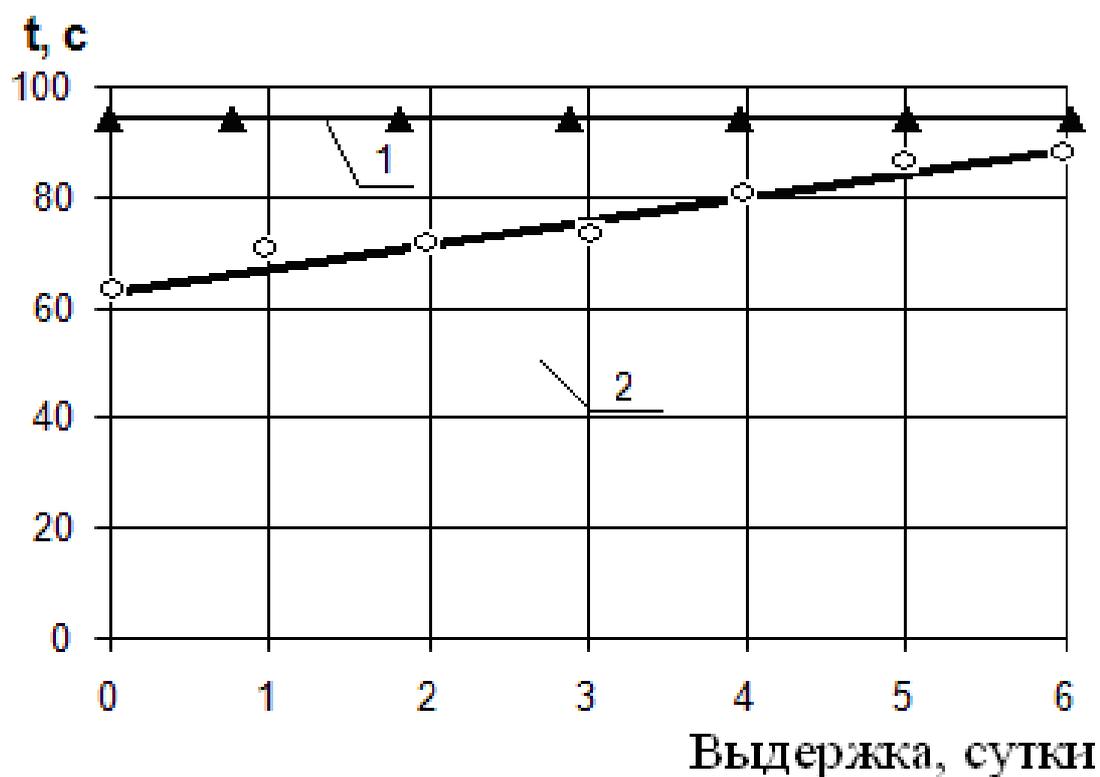


Рисунок 4. Изменение вязкости смолы КФ–МТ–15 от времени выдержки:
1–необработанная смола; 2–обработанная в электрическом поле при $E = 1500 \text{ В/см}$

Результаты исследований, приведенные в данном сообщении кроме научной стороны вопроса о влиянии электрического поля на структуру и

свойства полимерных клеев, используемых в деревообработке, имеют также практическую направленность, поскольку позволяют создавать изделия из клееной древесины более высокого качества. Особо следует отметить возможность использования данного метода снижения вязкости клеев не только на деревообрабатывающих предприятиях, но и на заводах, непосредственно производящих клеи.

Список использованной литературы

1. Кейгл Ч. Клеевые соединения. М.: Мир, 1971. 205с.
2. Фрейдин А.С. Прочность и долговечность клеевых соединений. М.: Химия, 1981. 272 с.
3. Ковальчук Л.М. Производство деревянных клееных конструкций. М.: Лесная промышленность, 1987. 248 с.
4. Фрейдин А.С., Вуба К.Т. Прогнозирование свойств клеевых соединений древесины. М.: Лесная промышленность, 1980. 224 с.
5. Schwar H., Schlegel H. Metalek – leben und Claseserverstarkte Kunststoffe in der Technik. 3 Aufl / Berlun, VEB Verlaq Technin, 1964.
6. Молчанов Ю.М., Кисис Э.Р., Родин Ю.П. Структурные изменения полимерных материалов в магнитном поле // Механика полимеров. 1973. №4. С. 737–738.
7. Кестельман В.Н. Физические методы модификации полимерных материалов. М.: Химия, 1980. 224 с.
8. Воронежцев Ю.И., Гольдаде В.А., Пинчук Л.С. Электрические и магнитные поля в технологии полимерных композитов. Мн: Навука і тэхніка, 1990. 263 с.
9. Дерягин Б.Н., Кротова Н.А., Смигла В.П. Адгезия твердых тел. М.: Наука, 1973. 279 с.
10. Дерягин Б.В. Исследование в области поверхностных сил. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 218 с.