

На правах рукописи



СОРОКИН МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
МОБИЛЬНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
НАПОЛНЯЕМОГО ТИПА ДЛЯ
ПЕРВОНАЧАЛЬНОГО ЛЕСОСПЛАВА

05.21.01– Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Мытищи- 2016 г

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет леса»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Комяков Алексей Николаевич

Официальные оппоненты: **Войтко Петр Филиппович**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры лесопромышленных и химических технологий, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Поволжский государственный технологический университет»
Мануковский Андрей Юрьевич
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

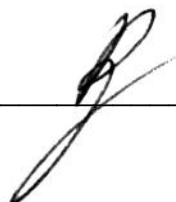
Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнева»

Защита диссертации состоится «20» декабря 2016 г, в 14 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.115.02 при ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» по адресу: 424000, Респ. Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3, конференц-зал УНИД (ауд. 406, I корп.)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет» и на сайте <http://volgatech.net>.

Автореферат разослан «___» _____ 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета _____



К. П. Рукомойников

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Удаленность потребителей древесного сырья от основных лесозаготовительных регионов страны вызывает необходимость транспортировки лесных грузов на большие расстояния. В условиях слабо развитой сети автомобильных и железных дорог водный транспорт зачастую является единственно возможным способом транспортного освоения регионов РФ со значительными запасами лесных ресурсов.

В настоящее время резко сократилось число рек используемых для водного транспорта леса, это вызвано экономическими причинами, связанными с реорганизацией лесной отрасли и законодательными, связанными с ужесточением экологического законодательства, в частности, запретом молевого лесосплава Водным кодексом Российской Федерации.

Одним из перспективных путей повышения эффективности водного транспорта лесных грузов является организация лесосплава на малых реках и верховьях средних рек, в том числе на тех реках, где в 90-х г. прошлого века был прекращен молевой лесосплав. В связи с этим необходимо дополнительное изучение вопросов связанных с освоением первоначальным сплавом, в том числе малых рек.

Широкое освоение малых рек и верховьев средних рек в лесных массивах является актуальной задачей, ее решение расширит объем лесозаготовок и ускорит вовлечение в эксплуатацию неиспользуемых лесных массивов, позволит сократить расстояния вывозки леса к сплавным рекам, что уменьшит общую стоимость транспортировки древесины.

В настоящее время лесосплав по малым рекам существенно затруднен или невозможен из-за их деградации как водных путей, в связи с не проведением необходимых гидромелиоративных работ. В комплекс технических мероприятий мелиоративных работ входит строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений (ГТС). Применявшиеся на лесосплавных реках ГТС имели известные недостатки: высокую стоимость и трудоемкость их строительства; использование специальных конструкций и несовершенство материалов и др.

При ограниченных сроках эксплуатации лесосплавных рек перспективным направлением является применение мягких мобильных ГТС обладающих рядом качеств, отвечающих требованиям лесосплава: мобильностью, что ускорит установку ГТС в створе реки и, при необходимости позволит перемещать их в другие места; минимальным временем строительства с размещением ГТС в руслах рек без предварительной подготовки их основания; низкой стоимостью материалов и высокой степенью заводской готовности, позволяющей устанавливать ГТС в русле реки с минимальными затратами.

Таким образом, актуальность проблемы организации первоначального лесосплава на малых реках и верховьях средних рек, с применением мягких мобильных ГТС для улучшения их гидрологических и эксплуатационных характеристик, не вызывает сомнений.

Степень проработанности темы. Исследованиями в области водного транспорта лесных грузов занимались проф. А.Н. Пименов, проф. В.И. Пятакин, проф. Ю.Я. Дмитриев, проф. М.М. Овчинников, проф. А.А. Камусин. Вопросы, связанные с освоением сплавом малых рек и верховий средних рек в связи с рядом объективных причин нуждаются в дополнительном изучении. Для освоения сплавом малых рек необходимо улучшения их гидрологических и эксплуатационных характеристик.

Улучшением характеристик рек с использованием мягких гидротехнических сооружений (ГТС) наполняемого типа занимались отечественные и зарубежные ученые. Мягкие ГТС применяются в различных отраслях промышленности и в сельском хозяйстве. Установлено, что опыт эксплуатации этих сооружений на лесосплавных реках отсутствует, исследования по применению мягких ГТС наполняемого типа на лесосплавных реках ранее не проводились.

Цель работы: совершенствование технологических решений и средств, для проведения первоначального лесосплава на основе применения мягких мобильных ГТС наполняемого типа.

Задачи исследования, поставленные в соответствии с целью работы:

1. разработать технологию для улучшения гидрологических и эксплуатационных характеристик лесосплавных рек;
2. провести исследования гидродинамических характеристик мягких мобильных ГТС при транспортировке и выполнении различных переместительных операций;
3. исследовать взаимодействие мягкого мобильного ГТС с руслом реки и водным потоком;
4. разработать технологию проведения работ на береговых складах и лесосплавных рейдах для организации первоначального лесосплава.

Объект исследования. Объектом исследования являются мягкие мобильные ГТС наполняемого типа.

Предмет исследования: технология применения мягкой мобильных ГТС наполняемого типа и технологические процессы проведения первоначального лесосплава на малых реках и верховьях средних рек.

Методы исследований. В процессе исследования применялись методы теории планирования эксперимента, методы анализа и математической статистики, а так же теории размерностей и теории подобия.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. технологические схемы применения мягкого мобильного ГТС наполняемого типа для улучшения гидрологических и эксплуатационных характеристик лесосплавных рек;
2. методика и результаты исследований гидродинамических характеристик мягких мобильных ГТС при транспортировке и выполнении различных переместительных операций в условиях безграничного потока и мелководья;
3. методика расчёта статической устойчивости сооружения в процессе эксплуатации;

4. технология береговой сплотки на базе мобильных механизированных комплексов, транспортно-технологические схемы для организации лесосплава с применением мобильных ГТС.

Научная новизна работы:

1. разработаны технологические схемы применения мягких мобильных ГТС наполняемого типа для улучшения гидрологических и эксплуатационных характеристик лесосплавных путей и организации лесосплавных работ, отличающиеся минимальным временем транспортировки и установки ГТС, возможностью кратковременного пользования и многократным использованием ГТС в течение одной навигации;

2. исследованы гидродинамические характеристики мягкого мобильного ГТС и получены математические модели для расчёта сопротивления воды перемещению мобильного ГТС в потоке в зависимости от его геометрических параметров и условий транспортировки, отличающиеся тем, что переместительные операции осуществляются на воде за счет обеспечения плавучести ГТС с минимальной осадкой;

3. разработана методика расчёта статической устойчивости сооружения в процессе эксплуатации, отличительной особенностью которой является расчет с учетом разработанной конструкции ГТС и фильтрационных свойств основания ГТС - отсутствие флутбета, синтетический материал оболочки ГТС;

4. разработанные технологии береговой сплотки на базе мобильных механизированных комплексов, транспортно-технологические схема для организации лесосплава, отличаются: отсутствием капитальных стационарных сооружений и привязки к электрическим сетям; высоким уровнем механизации основных работ.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что полученные выводы, положения и экспериментальные результаты обеспечивают:

1. развитие технологий применения мягких мобильных ГТС;

2. дополняют математические модели для расчёта сопротивления воды перемещению подобных тел в потоке в зависимости от геометрических параметров и условий транспортировки;

3. дополняют методики расчёта статической устойчивости ГТС в процессе эксплуатации;

4. развитие технологии береговой сплотки и транспортно-технологических схем на первоначальном лесосплаве.

Практическая значимость работы. Результаты исследований представлены в виде методик расчёта, аналитических и графических зависимостей, технологических схем и практических рекомендаций, позволяющих:

1. сделать обоснованный выбор технологии применения мягких мобильных ГТС наполняемого типа для конкретных производственных условий;

2. провести прочностные и тяговые расчеты доставки на воде мягких мобильных ГТС при выполнении различных переместительных операций;

3. рассчитать и обеспечить необходимую статическую устойчивость сооружения для разных условий эксплуатации;

4. выполнить обоснованный выбор технологии работ и оборудования на береговых складах и на проплаве лесотранспортных единиц.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационная работа соответствует пункту 3 и 6 паспорта специальности 05.21.01–«Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства»:

– Разработка операционных технологий и процессов в лесопромышленном и лесохозяйственном производствах: заготовительном, транспортном, складском, обрабатывающем, лесовосстановительном и др.

– Выбор технологий, оптимизация параметров процессов с учетом воздействия на смежные производственные процессы и окружающую среду.

Достоверность результатов исследований. Достоверность результатов исследований подтверждается совпадением теоретических и экспериментальных данных по результатам их анализа и обработки в современных программных средах, с использованием современных методов анализа и математической статистики. Значения коэффициентов корреляции и коэффициентов детерминации подтверждают адекватность полученных математических моделей.

Личное участие автора в получении результатов. Автором разработано техническое решение мягкого мобильного ГТС наполняемого типа [патент на полезную модель № 86601 от 01.06. 2009 г]. На основании исследованных гидродинамических характеристик получены математические модели для расчёта сопротивления воды перемещению мобильного ГТС в потоке и при выполнении переместительных операций. Разработаны технологические схемы применения мягких мобильных ГТС наполняемого типа для улучшения гидрологических и эксплуатационных характеристик лесосплавных путей и организации лесосплавных работ.

Реализация результатов исследования. Проведена опытно-промышленная апробация разработанного мягкого мобильного ГТС наполняемого типа в Щелковском учебно-опытном лесхозе МГУЛ и ГКУ ЯО «Переславское лесничество». Результаты работы внедрены в учебный процесс МГУЛ и используются при подготовке бакалавров и магистрантов по направлению «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств».

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены на научно-технической конференции Российского Государственного Университета Туризма и Сервиса 2009 г (г. Москва РГУТиС), на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов МГУЛ по итогам научно- исследовательской деятельности за 2010... 2016 гг. (М.О. г. Мытищи МГУЛ).

Публикации. Материалы исследований опубликованы в пяти научных работах общим объемом 0,92 п.л., авторский вклад 0,41 п.л., из них три работы опубликованных в изданиях, рекомендуемых ВАК. Получен один патент на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, основных выводов и рекомендаций, содержит 138 страниц

печатного текста, включающих 53 рисунка, 9 таблиц, списка литературы из 72 наименований и 13 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, сформирована цель исследований и их практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе выполнен анализ современного состояния лесосплава в Российской Федерации. Приведены данные о речной сети РФ (рек и других водотоков), из которых около 92 % – реки и другие водотоки длиной до 100 км. На основании анализа проведенных исследований установлено, что одним из необходимых условий организации и проведения лесосплава для доставки лесоматериалов потребителям является улучшение гидрологического режима и эксплуатационных характеристик водных путей, не удовлетворяющих требованиям лесосплава за счет совершенствования технологий гидромелиоративных работ и конструкций ГТС.

Во втором разделе рассмотрены вопросы организации гидромелиоративных работ на лесосплавных реках с применением мягких мобильных ГТС.

На кафедре промышленного транспорта и строительства МГУЛ была предложена конструкция мягкого мобильного ГТС наполняемого типа с использованием современных рукавных синтетических материалов с различными типами наполнителей (рисунок 1), запатентованная автором, совместно А.Н. Комяковым и др. [патент на полезную модель № 86601 от 01.06. 2009 г].

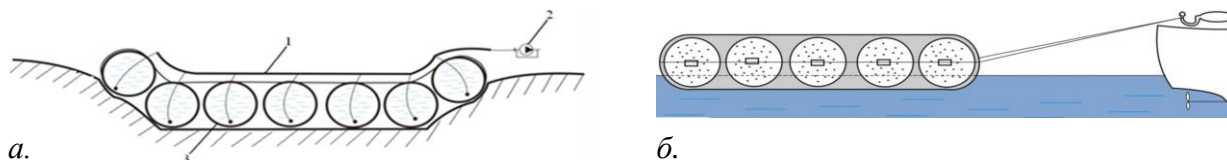


Рисунок 1 Схемы гидротехнического сооружения:

а. – в рабочем положении; б. – в транспортном положении;

1 – система заполнения-опорожнения; 2 – насосная установка; 3 – сферические емкости (твердый наполнитель)

Принципиальным отличием сооружений предлагаемой конструкции является их мобильность за счет обеспечения плавучести ГТС с минимальной осадкой. Минимальная осадка ГТС необходима для его доставки на место эксплуатации на воде, а также для выполнения переместительных операций при монтаже. Это позволяет быстро устанавливать ГТС в русле реки, при необходимости перемещать их в другие места с возможностью многократного использования в течение одной навигации. В рабочем положении за счет собственного веса и заполнения внутренних емкостей (и пространства между ними) водой или другим наполнителем сооружение приобретает отрицательную плавучесть для обеспечения плотного прилегания к основанию.

На основании анализа методов улучшения лесосплавных путей определены варианты применения мягких мобильных ГТС наполняемого типа на обустройстве лесосплавных путей и проведении лесосплава (рисунок 2). При обустройстве лесосплавного хода, организации и проведении лесосплава мобильные ГТС предлагается использовать для:

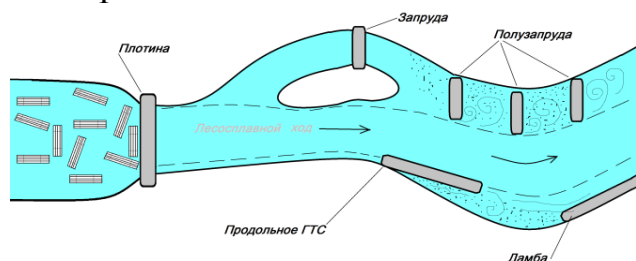


Рисунок 2 Варианты применения мобильных ГТС

регулирования русла, регулирования уровней воды, регулирования стока, создания искусственных лесосплавных путей.

Разработана методика для регулирования стока на малых реках и верховьях средних рек кратковременным попусками из одного водохранилища, кратковременными попусками из нескольких последовательно расположенных по длине реки водохранилищ «каскад плотин».

Для оценки надежности работы ГТС при регулировании стока выполнен расчет устойчивости сооружения (рисунок 3).

Сила давления воды P при расчете устойчивости плотины:

$$P = P_в - P_н, \quad (1)$$

где $P_в$ – сила давления воды на сооружение, со стороны верхнего бьефа; $P_н$ – сила давления воды на сооружение, со стороны нижнего бьефа.

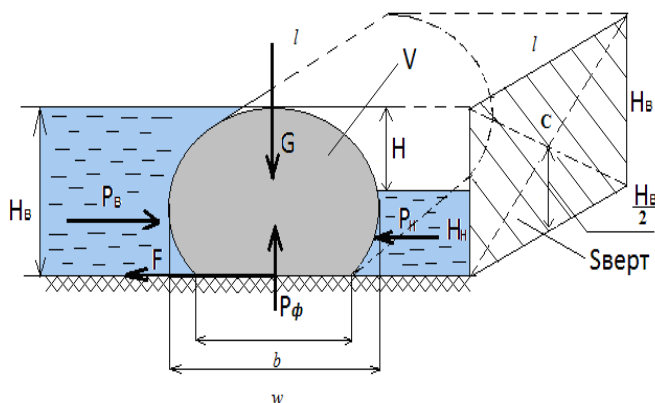


Рисунок 3 Схема к расчету устойчивости плотины

Сила давления воды на сооружение со стороны верхнего бьефа составляет, Н:

$$P_в = \rho_{сизб} \cdot S_{верт} = \rho \cdot g \frac{H_в}{2} H_в \cdot l, \quad (2)$$

где $P_в$ – сила давления воды на сооружение со стороны верхнего бьефа, Н; ρ – плотность воды, кг/см³; g – ускорение свободного падения м/с²; $H_в$ – уровень воды в верхнем бьефе, м; l – длина сооружения в расчетном створе, м.

Сила давления воды на сооружение со стороны нижнего бьефа равна, Н:

$$P_н = \rho_{сизб} \cdot S_{верт} = \rho \cdot g \frac{H_н}{2} H_н \cdot l, \quad (3)$$

где $P_н$ – сила давления воды на сооружение, со стороны нижнего бьефа, Н; ρ – плотность воды, кг/см³; g – ускорение свободного падения м/с²; $H_н$ – уровень воды в нижнем бьефе, м; l – длина сооружения в расчетном створе, м.

Вес гидротехнического сооружения G без учета веса оболочки равен, Н:

$$G = \rho \cdot g \cdot S \cdot l, \quad (4)$$

где ρ – плотность воды, кг/см^3 ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; S – площадь поперечного сечения водонаполняемой оболочки, м^2 ; l – длина сооружения, м.

Сила противодействия фильтрационного потока на основание сооружения составляет, Н:

$$P_{\phi} = p_{\phi} \cdot S_{\text{осн}} = \rho \cdot g \left[H - \frac{0,5b}{C_0} \right] b \cdot l, \quad (5)$$

где p_{ϕ} – среднее фильтрационное давление в основании плотины, Н; C_0 – коэффициент, характеризующий фильтрационные свойства грунта в основании сооружения; b – длина фильтрационного пути под сооружением, м.

Сила воздействия сооружения на основание $P_{\text{верт}}$ определена как разность между его весом и силой противодействия проходящего под ним фильтрационного потока P_{ϕ} по формуле, Н:

$$P_{\text{верт}} = (\rho \cdot g \cdot S \cdot l) - \rho \cdot g \cdot \left[H - \frac{0,5b}{C_0} \right] \cdot b \cdot l. \quad (6)$$

Удерживающая от сдвига сила F :

$$F = P_{\text{верт}} \cdot f, \quad (7)$$

где $P_{\text{верт}}$ – сила воздействия сооружения на основание; f – коэффициент трения (угол трения), для ПВХ по мокрому грунту $f = 0,25$.

Для обеспечения устойчивости сооружения на сдвиг с коэффициентом запаса устойчивости k дополнительная удерживающая сила ΔF должна составить:

$$\Delta F = k \cdot P - F, \quad (8)$$

где k – устойчивость гидротехнического сооружения на сдвиг, характеризует коэффициент запаса устойчивости $k = \frac{F}{P}$.

Дополнительная удерживающая сила может быть обеспечена разработанными способами.

В третьем разделе рассмотрен процесс гидродинамического взаимодействия мобильного ГТС с водным потоком при транспортировке и выполнении переместительных операций.

Сопротивления воды перемещению мобильного ГТС – важнейшая гидродинамическая характеристика, необходимая для разработки конструкций сооружений данного типа и технологий их доставки к месту эксплуатации, создания методик прочностных и транспортных расчетов.

Мобильное ГТС, основным элементом которой является мягкая наполняемая оболочка, имеет довольно сложную форму. Теоретически описать процесс гидродинамического взаимодействия сооружения с водным потоком и установить вид расчетной зависимости для определения сопротивления движению не представляется возможным из-за исключительной сложности процесса. Поэтому для решения этой задачи использован экспериментальный метод. Исследование гидродинамических характеристик мобильных ГТС на моделях выполнено в гидравлическом русловом лотке лаборатории водного транспорта кафедры ПТС МГУЛ.

На функциональную зависимость величины основной части сопротивления движения R_0 ГТС в общем случае влияют геометрические параметры ее подводной части, плотность ρ и вязкость δ воды, характеристика поля гравитационных сил g , физико-механических свойств материала оболочки и скорость обтекания сооружения потоком воды V :

$$R_0 = f(L, D, T, \Delta, E, \rho, \delta, g, V), \quad (9)$$

где T , L и D – средняя осадка, длина и диаметр заполненной оболочки, м; Δ – шероховатость материала оболочки сооружения; E – модуль упругости оболочки сооружения, Н/м; ρ – плотность воды, кг/м³; δ – кинематический коэффициент вязкости воды, м²/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; V – скорости обтекания сооружения потоком воды, м/с.

Используя π -теорему теории размерностей искомая зависимость была преобразована к безразмерному виду. Решение задачи в критериальной форме:

$$C_R = \varphi\left(\frac{L}{T}, \frac{T}{D}, \frac{\Delta}{l}, C_a, R_e, F_r\right). \quad (10)$$

Одновременное соблюдение критериев $R_e = \frac{VT}{\delta}$ – число Рейнольдса; $F_r = \frac{V}{\sqrt{gT}}$ – число Фруда; $C_a = \frac{\rho V^2 T}{E}$ – число Коши, для модели и натуре невозможно, поскольку они предъявляют разные требования к скорости буксировки моделей ГТС. Изучение работ по гидродинамике мягких плавучих контейнеров для жидких и сыпучих грузов, а также предварительные опыты показали, что к числу определяющих критериев можно отнести: при продольном перемещении R_e и F_r , а при поперечном перемещении только F_r .

При продольном перемещении из-за обтекаемости заполненной оболочки ГТС сопротивление трения соизмеримо с сопротивлением формы. Это позволило прибегнуть к общепринятой в теории корабля методике разделения полного сопротивления R на сопротивление трения R_{mp} и остаточное сопротивление $R_{ост}$:

$$R = R_{mp} + R_{ост}. \quad (11)$$

Сопротивление трения рассчитывается теоретически через коэффициент сопротивления $\xi_{ТП}$ технически гладкой пластины площадью S , равной площади смоченной поверхности ГТС, и надбавки на её шероховатость ξ_{Δ} :

$$R_{mp} = (\xi_{ТП} + \xi_{\Delta}) \rho \frac{V^2}{2} S. \quad (12)$$

Коэффициент остаточного сопротивления определяется экспериментально на моделях ГТС с моделированием по числу Фруда:

$$C_{ост} = \frac{R - R_{mp}}{\frac{\rho V^2}{2} \Omega} = \varphi_1\left(\frac{L}{T}, \frac{T}{D}, F_r\right). \quad (13)$$

При поперечном перемещении мобильного ГТС в силу преобладающей роли сопротивления формы нет необходимости разделения полного сопротивления на составляющие. С учётом этого решение задачи в критериальной форме:

$$C_R = \varphi_2\left(\frac{L}{T}, \frac{T}{D}, Fr\right). \quad (14)$$

Полное сопротивление воды поперечному перемещению мобильного ГТС:

$$R = C_R \rho \frac{V^2}{2} LT. \quad (15)$$

В четвертом разделе экспериментальным путем получены математические модели для определения сопротивления воды продольному и поперечному перемещению мобильных ГТС в зависимости от их геометрических параметров и скоростного режима, в условиях безграничного потока и мелководья.

Обработка экспериментов выполнена с помощью программы STATISTICA [StatSost, USA, раздел «Углубленные методы анализа», «Нелинейное оценивание»].

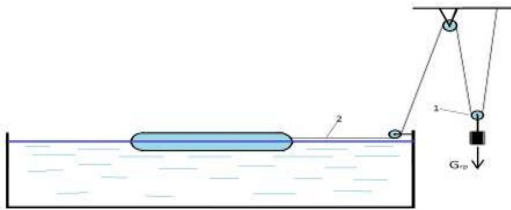


Рисунок 4 Схема буксировочной системы

Экспериментальные исследования на моделях выполнены в гидравлическом лотке с использованием буксировочной системы повышенной точности гравитационного типа с полиспастом и незамкнутым тяговым канатом (рисунок 4).

Величина тягового усилия равна сопротивлению воды движению буксируемого тела при равномерном движении:

$$P = R = \frac{G}{i} - f = \frac{G - \Delta G_{map}}{i}, \quad (16)$$

где P – тяговое усилие, Н; R – сопротивление воды движению буксируемого тела, Н; f – сопротивление холостого хода системы, Н; $i = \frac{D}{d} = 5$ – передаточное отношение между ведущим колесом и рабочим барабаном; ΔG_{map} – вес тарирующего груза, Н.

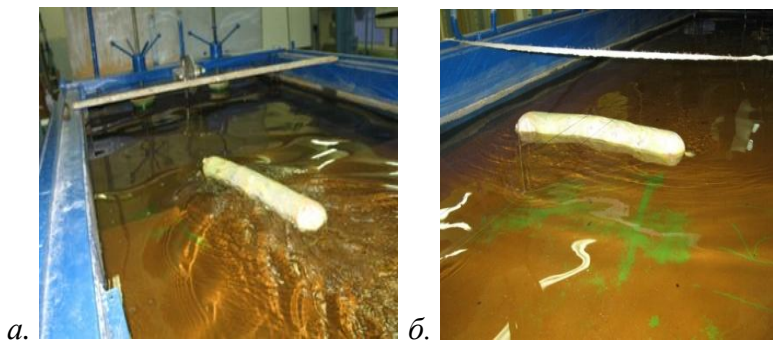


Рисунок 5 Буксировка модели ГТС а. продольное перемещение б. поперечное перемещение

Для изучения сопротивления воды продольному перемещению ГТС было изготовлено 14 моделей. С продольно ориентированными в потоке ГТС (рисунок 5 а.) выполнено 350 опытов. Для каждого опыта по формуле (13) определялся коэффициент остаточного сопротивления $C_{ост}$.

В результате обработки экспериментов получено следующее уравнение регрессии:

$$C_{Rocm} = 1,987 - 1,343 Fr - 0,174 L/T + 0,0146 / Fr + 0,0051 (L/T)^2 - 1,783 / (L/T) + 0,523 / (T/D). \quad (17)$$

Величины относительных отклонений между вычисленными по формуле

(17) значениями $C_{R\text{ост}}$ и значениями $C_{\text{ост}}$ полученными в опытах, не превышают 8... 12 %. Итоговые статистики регрессионного анализа: коэффициент множественной корреляции $R=0,74$, коэффициент детерминации $R^2=0,55$.

На рисунке 6 и 7 показаны графики поверхности отклика $C_{R\text{ост}}$ от параметров L/T и T/D и числа Фруда. Из графика (рисунок 6) видно, что наиболее сильное влияние на коэффициент остаточного сопротивления оказывает параметр L/T . С ростом относительной длины L/T величина $C_{R\text{ост}}$ увеличивается, это объясняется увеличением длины ГТС при неизменных осадке и площади миделевого сечения.

С увеличением параметра T/D величина $C_{R\text{ост}}$ увеличивается в большей части диапазона определяющих факторов. Это объясняется ухудшением условий обтекания головной части ГТС набегающим потоком, усилением вихреобразования в погруженном состоянии вдоль всей его поверхности, и особенно в хвостовой части.

По результатам опытов установлено, что коэффициент остаточного сопротивления уменьшается с увеличением скорости движения и числа Фруда (рисунок 7). Данная зависимость наблюдалась при испытании всех моделей с различным сочетанием параметров L/T и T/D .

Такой характер зависимости объясняется тем, что основной частью остаточного сопротивления является вихревое сопротивление (сопротивление формы).

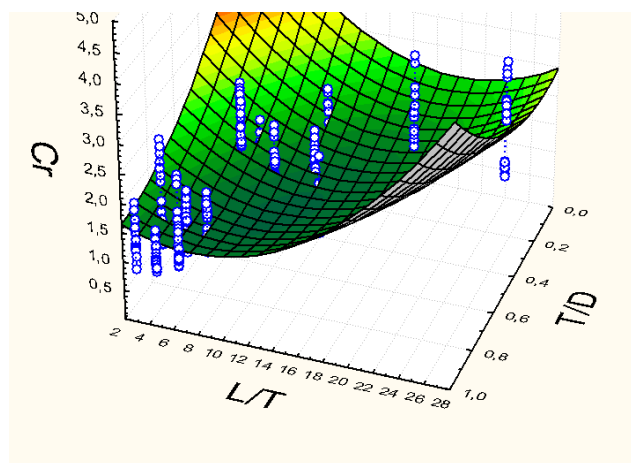


Рисунок 6 Зависимость коэффициента остаточного сопротивления $C_{R\text{ост}}$ от параметров L/T и T/D

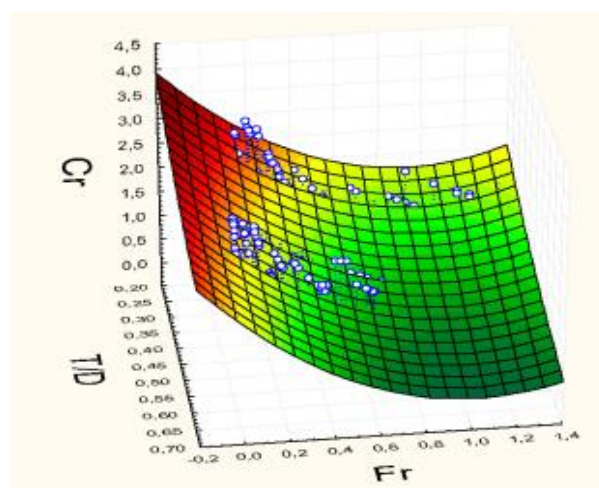


Рисунок 7 Зависимость коэффициента остаточного сопротивления $C_{R\text{ост}}$ от параметра T/D и числа Фруда

Для изучения сопротивления воды поперечному перемещению ГТС исследовано 10 моделей и выполнено 250 опытов (рисунок 5 б.). Для каждого опыта по формуле (14) определялся коэффициент полного сопротивления C_R .

В результате обработки экспериментов получено следующее уравнение регрессии:

$$\hat{C}_R = 16,64 - 7,45 Fr + 0,031 L/T + 8,19 Fr^2 + 0,0049 / Fr - 27,38 T/D + 14,78 (T/D)^2 - 2,31 T/D \quad (18)$$

Полученная математическая модель имеет высокие коэффициенты множественной корреляции $R=0,89$ и детерминации $R^2=0,79$. Величины относительных отклонений между вычисленными по (18) значениями \hat{C}_R и значениями C_R , полученными в опытах, в среднем не превышают 5...7 %.

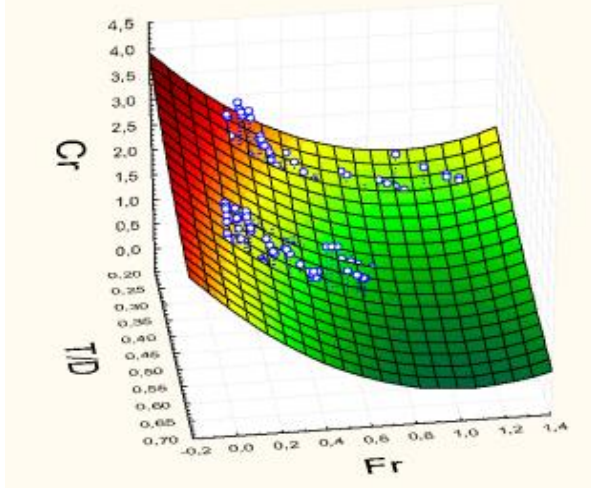


Рисунок 8 Зависимость коэффициента остаточного сопротивления $C_{R\text{ост}}$ от параметра T/D и числа Фруда

Для изучения влияния мелководья при продольном перемещении мобильных ГТС была проведена серия из 65 опытов, с диапазонами изменения числа Фруда $Fr=0,011...0,167$ и относительной глубины потока $H/T=1,23...6,00$. На начальном этапе определен характер зависимости коэффициента сопротивления от числа Фруда при перемещении на разных глубинах.

Характер зависимости C_r от числа Фруда одинаков при изменении относительной глубины H/T от своего минимального значения (минимально возможный донный запас), до максимального $H/T=6,0$ (рисунок 9), соответствующего условию безграничного по глубине потока. Это позволяет сделать предположение о слабом влиянии числа Фруда на коэффициент мелководья, или о полном отсутствии такого влияния.

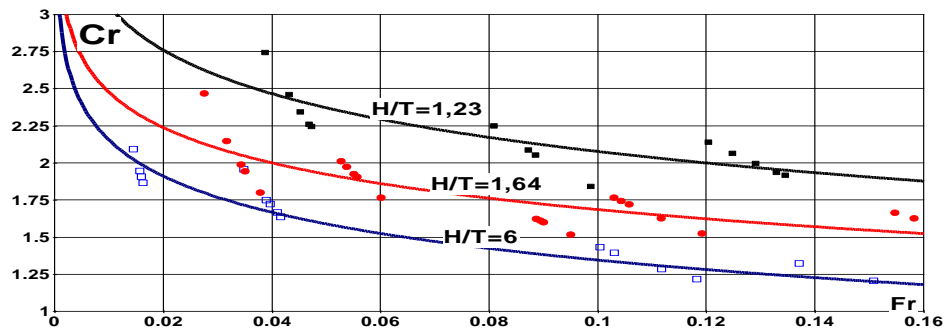


Рисунок 9 Зависимость коэффициента полного сопротивления C_R от числа Фруда при разных значениях H/T

Значение коэффициента мелководья в каждом опыте определялось по формуле:

$$K_m = C_R^m / C_R^{00\text{расч}}, \quad (19)$$

где $C_R^{00\text{расч}}$ – расчётное значение коэффициента сопротивления в условиях безграничного потока при числе Фруда, которое наблюдалось в опыте на мелководье.

В результате обработки опытов получена зависимость для определения коэффициента мелководья при продольном перемещении:

$$K_m = 0,902 + \frac{0,669}{\frac{H}{T}}. \quad (20)$$

Итоги регрессионного анализа имеет высокие коэффициенты множественной корреляции $R=0,85$ и детерминации $R^2=0,72$, что подтверждает адекватность полученной зависимости опытным данным.

Для изучения влияние мелководья на сопротивление воды поперечному перемещению ГТС была проведена серия из 50 опытов. Параметр H/T в опытах варьировался в пределах от 6,0 до 1, 23, а число Фруда от 0,0035 до 0,017. Полученная зависимость для определения коэффициента влияния мелководья от относительной глубины потока имеет тот же вид, что и при продольном перемещении:

$$K_m = 0,72 + \frac{1,9}{\left(\frac{H}{T}\right)}. \quad (21)$$

Итоги регрессионного анализа имеет высокие коэффициенты множественной корреляции $R=0,77$ и детерминации $R^2=0,59$, что подтверждает адекватность полученной зависимости опытным данным.

Из графика (рисунок 10) видно, что наиболее резкий рост сопротивления (в 1,5...3 раза) наблюдается при уменьшении относительной глубины H/T от 3 до 1,00. Увеличение сопротивления при движении на мелководье происходит из-за увеличения скорости обтекания потоком, усиления вихреобразования и возникновения поперечной волны перед ГТС, увеличивающей миделево сечение. Сопротивление воды перемещению ГТС в условиях ограниченной глубины потока определяется по формуле:

$$R = K_m C_R^{00} \frac{\rho \cdot V^2}{2} \Omega, \quad (22)$$

где C_R^{00} – коэффициент полного сопротивления воды перемещению ГТС в условиях безграничного потока (17) и (18).

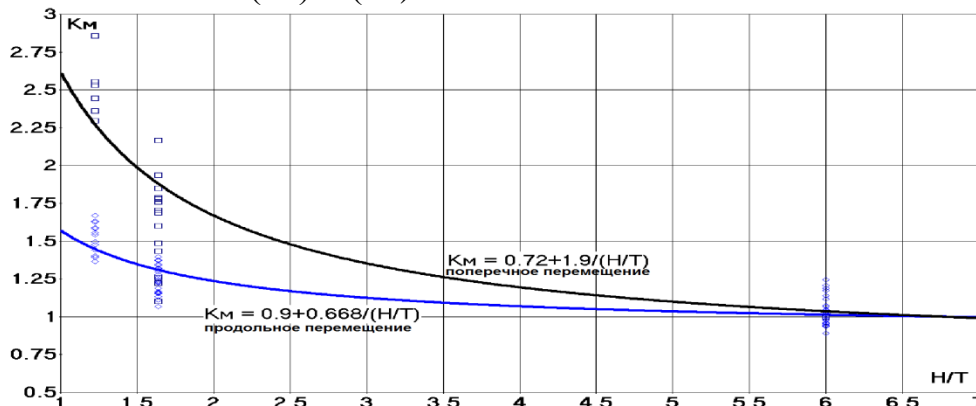


Рисунок 10 Зависимости коэффициента мелководья K_m от параметра H/T при продольном и поперечном перемещении ГТС

В пятом разделе предложена технология лесосплавных работ на малых реках с применением мягких мобильных ГТС.

Для оптимизаций операций на береговых складах, с учетом формирования лесотранспортных единиц и последующим транспортом на малых реках, при ограниченных габаритах лесосплавного хода, выбрана первичная сплочная единица- микропучок объёмом до 5 м³ и секционный микропучковый плот.

Использование микропучков на лесосплавных малых реках имеет ряд преимуществ, главные из которых: технологичность и высокая степень механизации их изготовления; возможность сплава не только хвойной древесины, но и лиственной с хвойным или искусственным подплавом; технологичность и простота укрупнения микропучков, формирования буксируемых секций и плотов с малой осадкой или кошелей.

В зависимости от технологии лесозаготовок и применяемого оборудования разработаны технологические схемы работ на береговых складах и технические решения для сплотки микропучков в навигационный и межнавигационный периоды.

Для организации микропучкового сплава при вывозке древесины в хлыстах предлагается организовать работу береговых складов на базе мобильных комплексов (рисунок 11) современных высокопроизводительных лесозаготовительных машин и оборудования (харвестеров, форвардеров, харвестерных и процессорных головок). По сравнению со стационарными береговыми складами, такая система организации береговой сплотки имеет ряд преимуществ: высокий уровень механизации основных работ (раскряжёвки хлыстов, учёта и сортировки сортиментов, сплотки микропучков); улучшение условий и повышение безопасности труда; отсутствие капитальных стационарных сооружений и привязки к электрическим сетям (береговой склад может быть оборудован в любом удобном месте из условия минимальных расстояний вывозки и возможности обустройства плотбища).

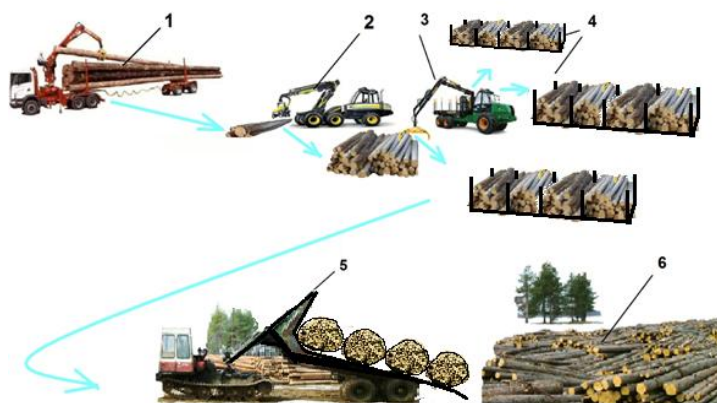


Рисунок 11 Технология работ на береговом складе:

1– автолесовоз, 2– харвестер или экскаватор с процессорной головкой; 3– форвардер, 4– лесонакопителя для микропучков; 5 – сплотно-транспортный агрегат, 6– плотбище

В условиях небольших грузооборотов береговых складов один мобильный комплекс машин может выполнять работы на нескольких складах поочередно, что будет способствовать улучшению экономических показателей работы дорогостоящей техники.

В зависимости от технологии лесозаготовок и применяемого оборудования принята и разработана технология работ на береговом складе при поступлении древесины в навигационный и межнавигационный период (рисунок 12).

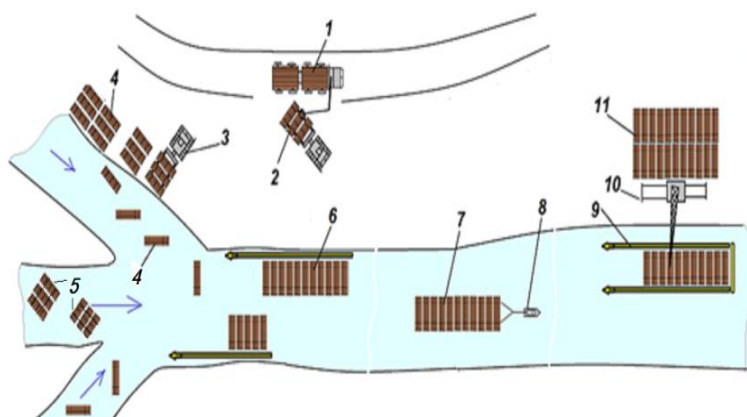


Рисунок 12 Транспортно-технологическая схема с использованием микропучков и кошелей

1 – сортиментовоз; 2 – плоточное устройство на санном полуприцепе; 3 – плоточно-транспортный агрегат; 4 – микропучок на береговом складе и на воде; 5 – «клетка» из микропучков; 6 – формировочный дворик; 7 – кошель; 8 – буксировочное судно; 9 – выгрузочный дворик; 10 – портальный кран; 11 – штабель

Поскольку микропучки и лесотранспортные единицы их имеют большую по сравнению с отдельно плывущими сортиментами осадку, для организации проплава в течение всего навигационного периода необходимо применение специальных гидромелиоративных и лесонаправляющих сооружений.

В качестве организации и механизации работ на проплаве принятых лесотранспортных единиц в зависимости от состояния лесосплавного пути необходимо использовать: пикетно-конвейерный способ лесосплава (ПКСС), или дистанционно-патрульный способ лесосплава (ДПС).

В шестом разделе определены условия для выбора участков реки, на которых устанавливаются мобильные ГТС на основе технологических требований лесосплава и общей схемы регулирования стока.

Для внедрения мобильного ГТС наполняемого типа разработана последовательность выполнения проектов для конкретного участка установки сооружений (ПОС) и организации и производства работ (ППР). Разработана технологическая схема строительства и демонтажа мобильного ГТС наполняемого типа для улучшения водных путей. Даны рекомендации последовательности технического обслуживания и надзора за ГТС, определен порядок демонтажа и консервации мобильных ГТС на зимнее хранение.

Выполнена оценка технологической и экономической эффективности разработанной конструкции и принятых технических решений, которая подтвердила результаты теоретических и лабораторных экспериментов. Опытно-промышленная проверка конструкции мобильного ГТС проводилась в период с мая по октябрь 2014 года на территории ГКУ ЯО «Переславское лесничество». На притоке р. Нерль в Лыченском лесничестве проведена установка мобильного ГТС наполняемого типа со следующими параметрами; длина оболочки $L=10$ м (выполнена из поливинилхлорида (ПВХ) – UNISOL прочность на разрыв 50 кН/м), с шириной прилегания оболочки 2,0 м– обеспечила высоту подпора 1 м. На основании проведенных расчетов стоимость прямых затрат на возведение мобильного ГТС наполняемого типа на стадии опытно-промышленной проверки в 2014 году составила 8756 руб за погонный метр.

Основные выводы и рекомендации

Диссертация представляет научно квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические, экономические и технологические решения для повышения эффективности лесосплава по малым рекам и верховьям средних рек с применением мягких мобильных быстровозводимых гидротехнических сооружений наполняемого типа. Анализируя результаты проведенных исследований, можно прийти к следующим выводам и рекомендациям.

Основные выводы

1. Предложены варианты рационального применения мягких мобильных ГТС и технологические схемы проведения гидромелиоративных и лесосплавных работ, на основе разработанной конструкции мягкого мобильного ГТС наполняемого типа, позволяющие улучшить гидрологические и эксплуатационные характеристики малых лесосплавных рек для проведения первоначального лесосплава.

2. Разработаны методики физического моделирования и проведены экспериментальные исследования процесса взаимодействия мягкого мобильного ГТС с водным потоком при его транспортировке и переместительных операциях. Получены математические модели для расчёта сопротивления воды перемещению ГТС в зависимости от его геометрических параметров и скоростного режима, в условиях безграничного потока и мелководья, необходимые для разработки конструкций сооружений данного типа и технологий их доставки к месту эксплуатации на воде, создания методик прочностных и транспортных расчетов.

3. Разработана методика расчета статической устойчивости мягкого мобильного ГТС в процессе эксплуатации, дающая возможность провести расчет устойчивости ГТС и при необходимости обеспечить дополнительную удерживающую силу.

4. Разработана технология береговой плотки на базе мобильных механизированных комплексов, транспортно-технологические схемы, для организации лесосплава с применением мягких мобильных ГТС наполняемого типа с целью освоения сплавом малых рек.

Рекомендации

1. Разработанные мягкие мобильные ГТС наполняемого типа для проведения гидромелиоративных и лесосплавных работ, на малых реках и верховьях средних рек, рекомендуются к внедрению на лесозаготовительных предприятиях.

2. Разработанная методика регулирования стока кратковременными попусками из одного водохранилища, кратковременными попусками «каскад плотин» на основе применения мягких мобильных ГТС, для обеспечения необходимых параметров сплавного или судового хода, рекомендуется к внедрению в проектных и научно-исследовательских организациях, занимающихся исследованиями в области транспортирования лесоматериалов и в лесозаготовительных организациях.

3. Разработанные альтернативные молевому лесосплаву транспортно-технологические схемы, технологии береговой плотки на базе мобильных механизированных комплексов без привязки к стационарным береговым складам, рекомендуются к внедрению в проектных и лесозаготовительных организациях.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах**а) в рецензируемых научных журналах и изданиях из перечня ВАК**

1. Сорокин М.А. Гидродинамические характеристики плавучих контейнеров и контейнерных составов для доставки измельченных лесных грузов. /М.А. Сорокин, А.Н. Комяков// Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2010. – № 4. – С. 102– 104. (0,17/0,09).

2. Сорокин М.А. Транспортные качества мобильных гидротехнических сооружений наполняемого типа в условиях безграничного потока и мелководья. /М.А. Сорокин, А.Н. Комяков// Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2011. – № 3. – С. 81– 84. (0,25/0,13).

3. Сорокин М.А. Устойчивость на сдвиг мягких гидротехнических сооружений наполняемого типа. /М.А.Сорокин, А.Н. Комяков// Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2013. – № 1. – С. 150– 152. (0,17/0,09).

б) патенты на изобретения

1. Патент России на полезную модель № 86601. Гидротехническое сооружение / Комяков А.Н., Сорокин М.А., Карпачев С.П., Шевелев И.Л.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет леса» – № 2009120448; заявл. 1.06.09; зарег. 10.09.2009; опуб. 10.09.2009. (0,14/0,07).

в) в других изданиях и материалах конференций

1. Сорокин М.А. О применении мягких контейнеров для перевозки и хранения лесных грузов. /М.А. Сорокин, А.Н. Комяков, И.Л. Шевелев// – Лесопромышленник. – М.: изд-во «Атис», 2011. – № 4. – С. 221. (0,17/0,007).

2. Сорокин М.А. О применении мягких контейнеров для перевозки и хранения лесных грузов. /М.А. Сорокин, А.Н. Комяков, И.Л. Шевелев// – Промышленный транспорт. XXI век.– М.: ПРОМТРАНСНИИПРОЕКТ, 2012. – № 2. – С. 27– 29. (0,17/0,07).

Отзыв на автореферат в двух экземплярах с подписями, заверенными гербовой печатью, просим направлять по адресу: 424000, Респ. Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, дом 3, ПГТУ, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.115.02.

Факс 8(8362) 41-08-72.