



УДК 624.145: 629.113

С.Н. Орловский, З.Н. Корепанов

### РАЗРУШЕНИЕ ЗАТОРОВ НА РЕКАХ ИХ ПЛАВЛЕНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕРМИТА ПО ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ МАЛОЭНЕРГОЁМКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

*Представлены технология экологически безопасной ликвидации заторов на реках, расчёты величины заряда термита для разрушения затора, таблицы количества зарядов, конструкция устройства для заброса зарядов на затор, рассчитаны дальность их метания и экономические показатели эффективности.*

**Ключевые слова:** заторы, технологии, заряды, количество, установка, метание, дальность, затраты.

S.N. Orlovsky, Z.N. Korepanov

### RIVER BLOCKING BLASTING BY MEANS OF FUSION WITH THE USE OF THERMITE ON THE BASIS OF THE ECOLOGICALLY SAFE LOW POWER-CONSUMING TECHNOLOGY

*The technology for ecologically safe river blocking blasting; thermite charge quantity calculations for blasting the blocking, charge quantity tables, device construction for throwing the charge on the blocking are given; throwing distance, and efficiency economic indices are calculated.*

**Key words:** blockings, technologies, charges, quantity, installation, throwing, distance, expenses.

**Введение.** Непосредственная опасность ледовых заторов на реках заключается в резком подъёме уровня воды и затоплении прилегающих территорий. Заторы льда бывают на реках, вскрытие которых происходит сверху вниз по течению, например Лена, Енисей, Иртыш и другие реки, текущие с юга на север. Актуальна проблема разрушения заторов при подтоплении населённых пунктов по энергосберегающим и экологически безвредным технологиям. Применяемые в практике в настоящее время способы борьбы с заторами дороги недостаточно эффективны.

Взрывные работы запрещается производить вблизи жилых или промышленных объектов. Недостатками взрывного метода являются высокие энергетические затраты; необходимость обеспечения безопасности людей, устанавливающих заряды взрывчатого вещества; вред, наносимый экологии водоёма [1]. Заряды взрывчатых веществ в герметичной упаковке накладываются на затор с вертолёт в режиме его висения, при взрыве большая часть энергии (примерно 70–80 %) рассеивается вверх и в стороны, разрушение затора иногда заменяется его уплотнением.

В связи с паводком ожидается возникновение чрезвычайных ситуаций в десяти населённых пунктах северных территорий края: Богучанского, Енисейского, Туруханского, Эвенкийского, Таймырского районов, где возможно нарушение условий жизнедеятельности для 1664 человек [1, 2].

**Цель работы.** Разработка способа разрушения заторов на реках без негативных факторов взрывов и разработка средств механизации для его выполнения.

При этом необходимо решить следующие задачи:

- определить количество тепла для плавления затора;
- выбрать тип устройства для подачи зарядов термита на затор;
- определить технические параметры предлагаемого устройства.

В данной работе представлены разработанная авторами технология экологически безопасной ликвидации заторов на реках, расчёты величины заряда термита, таблицы количества зарядов в зависимости от протяжённости заторов, конструкция устройства для заброса зарядов в затор, дальность метания зарядов и экономические показатели эффективности устройства.

**Предлагаемое техническое решение.** Предлагается производить подачу на затор термитного состава в бочках ёмкостью 200 дм<sup>3</sup>. Бочка с термитом и запальным устройством устанавливается манипулятором на смонтированную на автомобиле повышенной проходимости катапульту, приводимую в действие сжатым воздухом, и забрасывается на затор. Цикл повторяется до заброса необходимого количества зарядов. Сжатый воздух поступает в расположенные на раме баллоны (4 шт.) ёмкостью 150 дм<sup>3</sup> каждый от приводимого в действие от коленчатого вала двигателя базового автомобиля компрессора высокого давления АК-150 (давление 15 МПа) или автономного малогабаритного компрессора с двигателем внутреннего сгорания (рабочее давление 33 МПа). От баллонов воздух поступает в пневмоцилиндры, штоки которых присоединены к раме катапульты.

Бочки с зарядами перевозятся в съёмных контейнерах на том же автомобиле (20 шт.) и прицепе к нему (30 шт.). При прибытии на место работ контейнеры разгружаются манипулятором, один заряд укладывается им же в гнездо катапульты, закрытой пневматически управляемым крюком. Через запорный кран в цилиндры подаётся сжатый воздух от баллонов с контролем давления по манометру, что обеспечивает выбранную дальность метания. Заряд зажигается ударом по запальному устройству, крюк открывается электропневмоклапаном, катапульта срабатывает поворотом её рамы на 45° и бочка летит на затор. Наводка по горизонтали производится поворотом машины, по дальности – давлением подаваемого в цилиндры сжатого воздуха. При горении термита вследствие высокой (до 3000° С) температуры происходит плавление льда, а также частичное разложение воды на кислород и водород в зоне контакта и их сгорание. Схема установки представлена на рисунке 1.

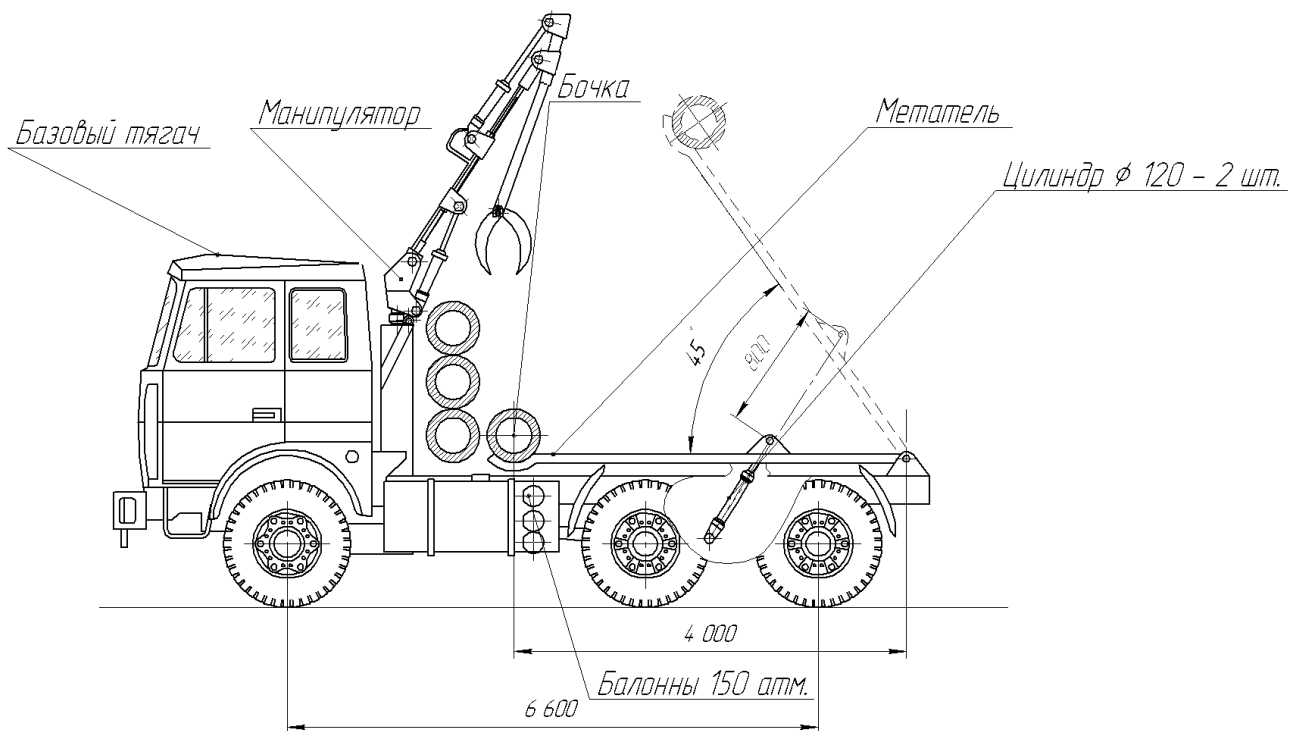


Рис. 1. Схема установки для доставки и метания зарядов термита на затор

**Методика и результаты исследований.** Методика исследований включает теоретический расчёт количества тепловой энергии для расплавления в заторе определённых размеров (данные берутся из статистики МЧС) щели, достаточной для его разрушения. На основании полученных данных определяется масса одного заряда термита и их количество для разрушения заторов различной протяжённости при заданных в виде констант свойствах льда. Технические параметры предлагаемого устройства определяются исходя из его кинематики, геометрических размеров и давления воздуха (задаётся типом используемого компрессора). Результаты исследований представляются в виде таблиц зависимости необходимого количества заряда термита заданной массы для таяния льда от ширины затора и номограммы расчёта дальности метания от давления воздуха в цилиндрах.

Масса термитного заряда определяется из условия расплава в заторе щели длиной  $a = 20$  м, шириной  $b = 0,5$  м и глубиной  $h = 3$  м. Объём расплавляемого льда  $V_{л}$  равен

$$V_{л} = a \cdot b \cdot h. \quad (1)$$

Масса расплавляемого льда  $m_{л}$  (кг) определяется по выражению

$$m_{л} = \rho \cdot V_{л}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность льда, кг/м<sup>3</sup>.

Количество тепла  $Q_{наг}$  (Дж), которое потребуется для нагрева льда до температуры плавления, определится по выражению

$$Q_{наг} = C \cdot m \cdot \Delta T, \quad (3)$$

где  $C$  – удельная теплоёмкость льда, Дж/кг · К;

$\Delta T$  – перепад температуры, град.

Для массы льда при принятых размерах расплавляемой щели 27510 кг

$$Q_{наг} = 210 \cdot 27510 \cdot 4 = 23108400 \text{ Дж.}$$

Количество тепла  $Q_{плав}$  (Дж), которое потребуется для плавления льда, определится по выражению

$$Q_{плав} = \lambda \cdot m, \quad (4)$$

где  $\lambda$  – удельная теплота плавления льда, Дж/кг.

Для нагревания и плавления льда потребуется тепла  $Q_{\Sigma} = Q_{наг} + Q_{плав}$ .

$$Q_{\Sigma} = 9376508400 \text{ Дж.}$$

Тепловые потери составляют 1/3 всей энергии.

Количество тепла для нагревания и плавления заданного объёма льда с учётом тепловых потерь составит 12502011200 Дж.

Масса термитного заряда для данного количества льда  $m_{тер}$  определяется по выражению

$$m_{тер} = Q_{с \text{ учетом потерь}} / q, \quad (5)$$

где  $q$  – теплота сгорания химического соединения,  $q = 3,864 \cdot 10^6$  Дж/кг [3]. Масса заряда составит 3235,51 кг

Масса термитного заряда в одной бочке объёмом 200 дм<sup>3</sup> определяется из удельного насыпного веса закиси железа Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2,15 г/см<sup>3</sup> и алюминиевой пудры 1,5 г/см<sup>3</sup>, а также их пропорции 75 и 25% соответственно. Отсюда в ёмкость объёмом 200 дм<sup>3</sup> поместится 400 кг термита; учитывая массу бочки 25 кг, метаемая масса заряда составит 425 кг. Зависимость необходимого количества термита для протаивания льда приведена в таблице.

**Зависимость необходимого количества заряда термита для таяния льда в зависимости от ширины затора при ширине щели 0,5 м**

Длина затора, м	Глубина, м*	Объём льда, м <sup>3</sup>	Количество термита, кг	Количество бочек объёмом 200 дм <sup>3</sup> , шт.
20	3	30	3236	8
40	3	60	6452	16
60	3	90	9678	24
80	3	120	12904	32
100	3	150	16130	40
120	3	180	19356	48

\* – по данным МСЧ Красноярского края.

Как видно из приведённых в таблице данных, количество зарядов в бочках является линейной зависимостью и может быть определено через пропорцию или по графикам для любой протяжённости затора. Дальность метания заряда массой 425 кг под углом к горизонту  $45^{\circ}$  определяется по выражению [4]

$$S = \frac{V_0^2}{g} \cdot \sin 2\alpha \cdot K_y, \quad (6)$$

где  $V_0$  – скорость метания, м/с;

$\alpha$  – угол метания к горизонту, град;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$K_y$  – коэффициент уменьшения дальности полёта за счёт сопротивления воздуха.

Необходимая при этом сила толкания заряда  $F$ , Н

$$F = \frac{P \sin \alpha}{\frac{L}{l}}, \quad (7)$$

где  $L$  – длина дуги разгона, м [5],  $L = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot \alpha}{360^{\circ}}$ ;

$R$  – радиус поворота центра тяжести метаемого заряда, м;

$\alpha$  – угол поворота рамы катапульты,  $45^{\circ}$ ;

$P$  – вес объекта с половиной массы рамы катапульты;

$l$  – плечо крепления цилиндра к раме метателя, м.

Задаваясь дальностью метания, по выражению (6) определим необходимую скорость разгона  $V$ , м/с

$$V = \sqrt{\frac{S \cdot g}{\sin 2\alpha \cdot K_y}}. \quad (8)$$

Определив длину дуги метания  $L$  из выражения (7), найдём требуемые усилия толкания для заданной дальности метания.

Расчёт усилия на штоке цилиндра и выбор его диаметра производятся на основании предпосылки, что он установлен под углом в начале метания  $\alpha_{\text{нач}} = 45^{\circ}$ , в конце пути под углом  $\alpha_{\text{кон}} = 90^{\circ}$ , в среднем  $\alpha_{\text{ср}} = 75^{\circ}$ . Необходимое усилие на штоке  $P_{\Sigma}$  определится из выражения [5]

$$P_{\Sigma} = \frac{F \cdot L}{\sin \alpha_{\text{ср}}}. \quad (9)$$

Усилие на штоке цилиндра от давления воздуха определится из выражения [5]

$$P_{\text{ц}} = \pi \cdot r^2 \cdot p \cdot \eta, \quad (10)$$

где  $\eta$  – КПД цилиндра, 0,9;

$r$  – радиус цилиндра,  $r = 6$  см ;

$p$  – давление воздуха, подаваемое в цилиндр, 150 кг/см<sup>2</sup>.

Зависимость между давлением, подаваемым в цилиндры метателя, и дальностью метания приведена на графике (рис. 2), используемом при выполнении работ.



Рис. 2. Номограмма расчёта дальности метания термитного заряда массой 425 кг в зависимости от давления в цилиндрах установки

При повышении давления в системе до 33 МПа дальность метания возрастает по линейной зависимости и составит 124 м. Для снижения падения давления воздуха в цилиндре при движении поршня он снабжён дополнительным ресивером, соединяющимся с поршневой полостью посредством окна, размер которого обосновывается критической скоростью при турбулентном режиме истечения.

В стоимость работ по ликвидации заторов на реках включается разработка съёмной установки на автомобиль КамАЗ 43114. Установка монтируется на автомобиль на период работ, остальное время автомобиль используется по назначению. Цена закисы железа 7200 руб/т, алюминиевой пудры 70000 руб/т. Цена заряда со стоимостью бочки и запала составит 5000 рублей.

Стоимость эксплуатации автомобиля 1712 руб/ч [5]. Стоимость оборудования (метателя и системы пневматического привода) 234000 рублей. При использовании автомобиля в течение одного месяца по две смены (световой день) затраты на эксплуатацию за 480 часов составят 821760 рублей. Цена зарядов на 5 заторов по 20 шт. (по статистике МЧС) составит 500000 руб. Всего затрат на 1 установку в сезон 1,322 млн руб.

Расходы на борьбу с заторами на реках по Красноярскому краю за прошедший год составили более 2,5 млн рублей, но затопления населённых пунктов все же произошли, и на ликвидацию их последствий администрацией было израсходовано дополнительно 19 млн рублей [1].

### Выводы

1. Использование термита в качестве тепловыделяющего состава позволяет использовать его в количестве 0,12 кг для расплавления 1 кг льда.
2. В результате химической реакции горения термита для расплавления заторов выделяются чистое железо и диоксид алюминия, не наносящие ущерба окружающей среде.
3. Дальность метания заряда термита прямо пропорциональна давлению воздуха в цилиндрах.
4. Использование предлагаемого метода борьбы с заторами на реках сократит стоимость работ по ликвидации заторов на реках в 8–10 раз и позволит производить работы на реках в зоне населённых пунктов.

### Литература

1. <http://www.newslab.ru/news/263167>.
2. <http://www.nimbusavia.ru>.
3. Орловский С.Н. Теория горения и взрыва (ЭУМКД). – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2009. – 402 с.

4. Физика для инженерных специальностей (ЭУМК) / Т. П. Сорокина [и др.]. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2004. – 228 с.
5. Орловский С.Н., Кухар И.В., Карнаухов А.И. Машины и оборудование для природообустройства: курс лекций. – Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2009. – 352 с.



УДК 630.323

В.В. Побединский, А.В. Берстнев

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПНЕВМОГИДРОПРИВОДА КОРОСНИМАТЕЛЯ РОТОРНОГО ОКОРОЧНОГО СТАНКА

*Предложен алгоритм моделирования работы пневмогидропривода короснимателя роторного окорочного станка. Проблема решается на основании разработки структуры модели и с учетом содержательной постановки задачи моделирования. Алгоритм позволяет наиболее корректно разработать математическую модель пневмогидропривода короснимателя.*

**Ключевые слова:** роторный окорочный станок, гидропривод, пневмопривод, ротор, окорочный инструмент, моделирование, алгоритм.

V.V. Pobedinsky, A.V. Berstenev

### OPERATION MODELING OF THE PNEUMO AND HYDRAULIC DRIVE OF THE ROTOR DEBARKING MACHINE CUTTER KNIFE

*The algorithm for modeling the operation of the pneumo and hydraulic drive of the rotor debarking machine cutter knife is offered. The problem can be solved on the basis of the model structure development and taking into account the modeling problem description. The algorithm allows to develop the mathematical model of the cutter knife pneumo and hydraulic drive most correctly.*

**Key words:** rotor debarking machine, hydraulic drive, pneumatic drive, rotor, cutter knife, modeling, algorithm.

**Введение.** В технологических процессах комплексная переработка древесины окорка лесоматериалов является одной из важнейших операций. Практически все сортименты, за исключением дров, окориваются перед дальнейшим использованием. Наиболее распространенным оборудованием в отечественном производстве и мировой практике являются роторные окорочные станки (РОС). Конструктивное устройство на примерах станков марки «Nicholson А8», «VK» и схема выполнения окорки показана на рисунке 1 [1,2].

В этом процессе определяющую роль играет механизм режущего инструмента (МРИ) с короснимателем 1 (рис. 1), который представляет собой узел, наиболее подверженный динамическим нагрузкам со стороны обрабатываемого ствола. При окорке лесоматериала для обеспечения силы прижима короснимателя в некоторых последних моделях современных роторных окорочных станков зарубежного производства применяется пневмо- или гидропривод (ГП) с элементами регулирования, но без автоматического управления. С целью дальнейшего совершенствования в УГЛТУ была разработана конструкция МРИ с автоматически управляемым пневмогидроприводом короснимателя (рис. 2, а). Чтобы точно определить параметры новой конструкции, необходимо применить метод моделирования [3]. Но в отличие от ранее используемых подходов разработчиков, стремящихся к упрощению моделей, современные информационные технологии позволяют исследователям применять достаточно мощные средства, чтобы создавать более точные модели с минимальными упрощениями. Одной из самых развитых компьютерных систем для моделирования в инженерных расчетах является MatLab, признанный в мире стандартом де-факто. Однако визуально-блочная концепция MatLab +Simulink, кроме всех очевидных преимуществ, накладывает и специфические особенности на процесс моделирования, которые необходимо учитывать при создании моделей.

**Цель исследований.** Разработка алгоритма, моделирующего процесс работы автоматически управляемого пневмогидропривода короснимателя. При этом алгоритм ориентирован на реализацию математической модели в среде визуального имитационного моделирования. Для достижения цели решались следующие задачи: