DOI 10.15593/2409-5125/2018.03.04

УДК 69.002.5, 669, 537.3

**Л.В. Задорина¹, В.А. Муратова¹, О.М. Зверев¹,
Д.М. Малых²**

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет

²ООО «ТГВ-Альянс»

НИХРОМОВЫЙ ЛЕДОРЕЗ ПРОТИВ НАЛЕДЕЙ И СОСУЛЕК

Удаление сосулек – актуальная проблема, связанная с безопасностью жизни людей. В статье представлено запатентованное устройство, которое основывается на прорезании льда раскаленным нагревательным элементом – нихромовой проволокой. Опираясь на принцип действия, мы называем полезную модель ледорезом. Рассмотрена возможность использования в качестве источника питания для ледореза не только генератора (аккумулятора) автомобиля, но и инверторного сварочного аппарата (САИ). Расчет длины нихромового нагревателя для САИ-220ПН «Ресанта» был проведен на основании трех серий экспериментов. Первоначально на нихромовой проволоке Ø2,3 мм длиной 2 м и Ø1,8 мм длиной 1,8 м была установлена зависимость напряжения от показаний цифрового дисплея (регулятора тока). Обнаружено насыщение по напряжению (току). Сделан вывод об оптимальной максимальной длине нагревателя для различных диаметров нихрома. Во второй серии экспериментов, при установленных на минимум регуляторе тока и форсаже дуги, уменьшалась длина нагревателей и снималось напряжение на них. При длине нагревателей менее 0,2 м мощность на нихrome резко падает, что можно объяснить срабатыванием функции «ANTI STICK». В последней части экспериментов определены напряжения (токи), при которых нагреватели разных диаметров плавятся, сделан вывод о возможности полуторного превышения тока, соответствующего температуре 1000 °С. В заключение приведены результаты измерений скорости резания льда нихромовыми нагревателями различных диаметров, а также парогенератором и строительным феном. Показано, что нихромовый ледорез в 5–10 раз эффективнее аналогов и является менее энергозатратным. Сделан вывод о том, что инверторный сварочный аппарат можно успешно использовать в качестве источника питания для низковольтных нихромовых нагревателей, что значительно расширяет функциональные возможности ледореза.

Ключевые слова: удаление сосулек, ледорез, нихромовая проволока, нагревательный элемент, инвертор, инверторный сварочный аппарат.

Сосульки и наледи могут причинить серьезный ущерб здоровью людей, вплоть до смертельного исхода. Также лед может повредить кровлю и водостоки.

Нихромовый ледорез против наледей и сосулек / Л.В. Задорина, В.А. Муратова, О.М. Зверев, Д.М. Малых // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 3. – С. 44–55. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.03.04

Zadorina L., Muratova V., Zverev O., Malykh D. Nichrome ice cutter against ice crust and icicles. PNRPU. Applied ecology. Urban development. 2018. No. 3. Pp. 44-55. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.03.04

Различные способы и устройства для предотвращения образования наледей и сосулек, а также для их удаления подробно рассмотрены в работе [1]. Там же предлагается созданная на СФ ПНИПУ полезная модель «Устройство для удаления сосулек с крыши здания» [2] (рис. 1), приводится расчет длины рабочего органа устройства – нихромового нагревателя для напряжения 12 В, рассчитывается скорость проплавления льда.

Зимой 2017–2018 гг. было продолжено совершенствование ледореза, проведены его лабораторные и полевые испытания с различными источниками питания, отработана технология резания больших (более 1 м) наледей и сосулек. Этому и посвящена данная статья.

Экспериментальный расчет длины нихромового нагревателя для сварочного аппарата. Если удаление сосулек происходит с постоянно работающей автовышки, то, конечно, проще всего использовать в качестве источника питания для ледореза ее генератор. Для работы из окон верхних этажей или с крыши необходим легкий, достаточно мощный (≈ 1 кВт) и самое главное низковольтный источник питания. Для высокого напряжения нихромовый нагреватель должен быть либо длинным (это неудобно), либо малого диаметра (такой будет рваться) [3–5]. Пускозарядные устройства не рассчитаны на длительное время работы. Специальные источники питания типа HTS-1500-12 (12 В, 125 А, 1,5 кВт) стоят в два раза дороже хорошего бытового сварочного аппарата. Мобильного источника питания лучше, чем сварочный аппарат, причем инверторный (постоянного тока – САИ), мы не нашли. САИ предпочтительнее сварочного трансформатора, так как, во-первых, он легче и удобнее [6, 7], во-вторых, постоянный ток заведомо безопаснее [8]. Но у любого сварочного аппарата есть две характеристики: напряжение холостого хода (70–80 В) и напряжение дуги (25–30 В) [9, 10]. Какими будут напряжение и ток не на дуге, а на нихромовой проволоке при различных положениях ручек

Рис. 1. Устройство для удаления сосулек с крыши здания: 1 – нихромовый нагреватель; 2 – диэлектрический держатель; 3 – шарнир; 4 – телескопическая рукоять; 5 – питающие провода; 6 – выключатель-автомат; 7 – САИ

Рис. 2. САИ-220ПН «Ресанта»:
1 – регулятора сварочного тока;
2 – регулятора форсажа дуги
(ARC FORSE); 3 – цифровой
дисплей

регулятора сварочного тока 1 и регулятора форсажа дуги 2, предсказать трудно (рис. 2). Цифровой дисплей 3 показывает ток, который будет на дуге. Поэтому мы и провели следующие эксперименты.

Если к примитивному сварочному трансформатору с напряжением холостого хода 70–80 В подключить нихромовый провод длиной около 2 м и $\varnothing 1,8$ мм, то напряжение упадет до 38–40 В. Если дальше уменьшать длину провода, то напряжение на нем уменьшается, но сила

тока растет быстрее, провод греется сильнее и при длине около 1,1 м нагреватель плавится. Таким способом мы и решили определить минимальную длину нихромовой проволоки различных диаметров (1,3; 1,5; 1,8 и 2,3 мм) для САИ-220ПН «Ресанта». Для этого на специально изготовленную стойку мы подвешивали нихромовые провода $\varnothing 2,3$ мм длиной 2 м и $\varnothing 1,8$ мм длиной 1,8 м, нагружая их снизу гирей 1 кг (≈ 10 Н) (рис. 3). Питание на нагреватель подавали двумя медными проводами длиной 5 м и сечением 10 мм² через выключатель-автомат. Сначала вольтметром РВ7-22А мы сняли зависимость напряжения на нихроме от показаний цифрового дисплея 3, меняя их регулятором сварочного тока 1 при разных положениях регулятора форсажа дуги 3. На втором этапе, установив ручки 1 и 2 на минимум, мы стали уменьшать длину нагревателя, передвигая по нему подвижный контакт с питающим проводом, и так до 0,1 м (рис. 4). Во всех случаях прибором Ц91 измерялся ток на входе САИ для расчета потребляемой им мощности.

Рис. 3. Стойка с разогретой
нихромовой проволокой

Рис. 4. Подвижный контакт
на нихромовой проволоке

На графиках рис. 5 показаны зависимости напряжения U на нихромовой проволоке $\varnothing 1,8$ мм длиной 1,8 м, мощности P_n , выделяемой на ней, и мощности P_n , потребляемой сварочным аппаратом, от показаний цифрового дисплея при установке «форсажа дуги» на максимум. Видно, что при показаниях индикатора 50 и более наступает насыщение по напряжению, току и мощности. Причем реальный ток через нагреватель не соответствует показаниям дисплея: при показаниях 10 ток был 26 А и далее рос до 53 А до показаний дисплея 50 и дальше не менялся. Кстати, такой ток соответствует температуре нихромового нагревателя более 1000 °С [3,4]. Растет и доля мощности, выделяемой на нагревателе от потребленной САИ, сначала КПД 50 %, после насыщения около 75 %.

Рис. 5. Зависимость напряжения U (■) на нихrome, мощности P_n (×) нагревателя и мощности P_n (○), потребляемой САИ от показаний дисплея

Аналогичные результаты были получены и на нихроме $\varnothing 2,3$ мм длиной 2,0 м, с тем отличием, что насыщение по напряжению и току наступило при показаниях дисплея 70 и реальный ток составил 73 А и больше не рос. КПД увеличился с 55 до 80 %.

Из вышеизложенного можно сделать следующий вывод: если необходимо резать большую наледь и максимально быстро, но не опасаясь, что нагреватель порвется, то длины нагревателей должны быть: при $\varnothing 1,3$ мм – 1,5–1,6 м; $\varnothing 1,5$ мм – 1,6–1,7 м; $\varnothing 1,8$ мм – 1,9–2,0 м; $\varnothing 2,3$ мм – 2,1–2,2 м. Оговорка – для САИ-220ПН «Ресанта».

Вторую серию экспериментов мы провели с целью определения минимальной длины нагревательного элемента. Поднимая подвижный контакт вверх по нихромовой проволоке, уменьшали ее рабочую длину, снимая при этом напряжение на ней и ток потребляемый аппаратом (рис. 6). При этом регулятор сварочного тока и регулятор форсажа дуги стояли на минимуме. При уменьшении длины нихрома $\varnothing 2,3$ мм до 0,6 м нагреватель стал ярко красным, и мы начали ожидать, что при последующем укорачивании и включении провод порвется, но этого не произошло до длины 0,1 м, дальше уменьшать длину не было смысла. Аналогично было и с проволокой $\varnothing 1,8$ мм.

Рис. 6. Зависимость напряжения U (■), силы тока I (×) и мощности P_n (○) от длины нихромового провода l , $\varnothing 1,8$ мм

Зависимость напряжения U на нихромовом нагревателе $\varnothing 1,8$ мм, рассчитанной силы тока I и мощности P_n , выделяющейся на нем от длины нихромового провода l показана на рис. 6. К этому нужно добавить, что ток на входе САИ был около 5 А и не менялся при изменении длины нагревателя, т.е. потребляемая мощность P_n была 1,0–1,1 кВт.

С уменьшением длины нагревателя напряжение U на нем уменьшается, а ток I растет, причем мощность, выделяемая на нагревателе, $P_n = I \cdot U$ практически не меняется при изменении длины от 1,8 до 0,9 м, оставаясь 0,5 кВт. А дальше уменьшается до 0,35 кВт при уменьшении длины до 0,2 м, потом резко падает до 0,2 кВт при длине нагревателя 0,1 м, так как ток практически не растет. Резкое падение мощности (прекращение роста тока) можно объяснить тем, что «инвертор, оснащенный функцией “ANTI STICK”, производит автоматическое снижение сварочного тока при “залипанию” электрода» (паспорт САИ). Причем при длине нагревателя 0,1 м регулятором тока напряжение (ток) уже не меняется.

Вывод – делать нагреватель короче 0,2 м не желательно. С практической точки зрения – бессмысленно: если сосульки диаметром несколько сантиметров, то их проще сбить той же телескопической рукоятью.

Последнюю часть экспериментов с нихромовыми нагревателями мы провели для определения допустимого превышения напряжения (тока) соответствующего нагреву до 1000 °С. Для этого мы плавно ручкой регулято-

ра тока увеличивали напряжение на нагревателях длиной, рассчитанной для 12 В [1], закрепленных в натянутом состоянии между диэлектрическими держателями 2 (см. рис. 1). При напряжении 18 В не перегорел ни один. Нихром $\varnothing$ 1,3 мм, длиной 0,525 м расплавился при 22 В, $\varnothing$ 1,5 мм, длиной 0,575 м – при 20 В, $\varnothing$ 1,8 мм, длиной 0,63 м – при 21 В, $\varnothing$ 2,3 мм, длиной 0,70 м – при 21 В. Следовательно, полуторный запас по току есть.

Из вышеизложенного следует, что при использовании в качестве источника питания САИ нагреватель можно делать любой длины, удобной для работы. Исходя из нашего опыта – от 0,5 до 1 м. Главное, чтобы ток через нихромовую проволоку соответствовал ее нагреву до 900–1000 °С. Определить температуру «на глаз» трудно, специально покупать пирометр накладно, а вот определить напряжение на нагревателе легко. Можно использовать не очень точный (есть полуторный запас), но дешевый вольтметр. Напряжение на 1 м длины, рассчитанное по формуле $U = I \frac{\rho \cdot l}{S}$

для температуры 1000 °С, приведено в табл. 1. Значения силы тока взяты из работ [3–5]. Например, если нихромовая проволока $\varnothing$ 1,5 мм имеет длину 0,575 м, то напряжение на ней должно быть $20,7 \cdot 0,575 = 11,9 \approx 12$ В. Еще нужно добавить, что при проведении всех экспериментов индикатор «Перегрев» ни разу не загорелся.

Таблица 1

Напряжение на 1 м длины для температуры 1000 °С

Показатель	Диаметр проволоки $\varnothing$, мм										
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0
U, В на 1 м	27,0	25,1	23,9	22,5	21,6	20,7	19,9	18,9	18,1	16,5	16,0
P, кВт на 1 м	0,52	0,54	0,58	0,61	0,65	0,68	0,72	0,82	0,92	1,20	1,63

Экспериментальное сравнение нихромового ледореза с аналогами.

В работе [1] приводится расчет скорости резания (проплавления) нихромовой проволокой, разогревающейся на воздухе до 1000 °С. Значения скоростей лежат в пределах от 1,5 до 1,8 мм/с. Но в расчетах предполагается, что толщина реза равна диаметру проволоки – в реальности это не так.

Экспериментальное определение скорости резания нихромом мы проводили на образцах, изготовленных из пригородного снега. Снег плавился, вода из снега заливалась в формы сечением 100×100 мм и потом замерзала. Исследовались нихромовые проволоки диаметрами 1,3; 1,5; 1,8 и 2,3 мм. Первоначально, мы попробовали в качестве источника питания

ледореза генератор (и аккумулятор) двигателя а/м «Калина», работающего на 2000 об/мин. Во всех случаях напряжение на нагревателях было от 12,4 до 13,0 В. Большую часть измерений мы провели с помощью САИ-220ПН «Ресанта», устанавливая на тех же нагревателях напряжение 12,5 В. Раскаленную нихромовую проволоку на держателе клали на образец, она опускалась под весом своим и держателя (≈ 5 Н) (рис. 7). Так повторяли 6–7 раз, определяя время по секундомеру и видео. Температура проведения экспериментов -10 °С. Время и скорость резания приведены в табл. 2. Случайная погрешность (для $\alpha = 0,95$) во всех сериях не превышала 10 %.

Средняя скорость резания для всех диаметров получилась около 1 мм/с, что в 1,5 раза меньше расчетной, видимо, из-за того, что толщина реза больше диаметра нагревателя. Мы пробовали «пилить» – скорость растет в 2–3 раза, но здесь сказывается влияние многих случайных факторов, например, насколько прямой нихромовый нагреватель. Самое главное – при резке нихромом $\varnothing 1,8$ мм сразу трех образцов среднее время было 110 с (рис. 8). Следовательно, для нашего ледореза безразлично, какого размера будет наледь, – скорость проплавления останется прежней.

Рис. 7. Резка льда нихромом

Рис. 8. Резка трех образцов.

Таблица 2

Зависимость скорости резания от диаметра проволоки

Показатель	Диаметр проволоки $\varnothing$, мм			
	1,3	1,5	1,8	2,3
Длина нагревателя l , м	0,525	0,58	0,63	0,70
Мощность нагревателя P , кВт	0,32	0,40	0,52	0,77
Среднее время резки, с	89	87	113	112
Средняя скорость резки, мм/с	1,1	1,1	0,9	0,9
Толщина реза, мм	1,6–1,7	1,8–1,9	2,2–2,4	2,4–2,6

Во всех экспериментах мы определяли ток питания САИ для оценки КПД, который во всех случаях оказался от 40 до 60 %, при резке проволокой $\varnothing 1,5$ мм и длиной 575 мм потребляемая мощность была 1 кВт.

Мы решили сравнить быстроту резания льда нашим устройством и его аналогами. Для начала немного юмора. Авторы устройства [11] предлагают купить в магазине игрушек вертолет на радиоуправлении и поместить в него электрофен, т.е. на валу, крутящем несущий винт, разместить лопасти, которые погонят воздух через электронагревательный элемент и выдвигающийся телескопический тубус, через него нагретый «воздух под давлением устремляется к ледяной массе». Конечно, никто не будет делать такой вертолет, но, например, прикрепить электрофен к шарниру телескопической рукоятки можно. Испытывать фен для волос мы не стали, знали, что слишком медленно плавит [12], а экспериментировали со строительным феном Hitachi RH600T мощностью 2 кВт. Предварительно с помощью термомпары, установленной в электропечи ПКЛ-1,25-36, измерили температуру у конца насадки, которую мы использовали для резки льда, она оказалась равной 445 °С. Эксперимент проводили на улице при –10 °С. Догадываясь, что рез не получится ровным (рис. 9), мы решили определить его среднюю ширину по массе расплавленного льда. Для этого определили массу образца до эксперимента ($m_n = 0,940$ кг) и после ($m_k = 0,395$ кг). Концом эксперимента мы считали момент, когда верхняя часть образца упала на нижнюю, что произошло через $t = 520$ с. Это в 5 раз дольше, чем нашим ледорезом. Приняв плотность льда $\rho = 917$ кг/м³ [13] и площадь образца 0,01 м², получаем среднюю ширину реза:

Рис. 9. Резка льда горячим воздухом [8]

$$h = \frac{\Delta V}{S} = \frac{\Delta m}{\rho \cdot S} = \frac{0,545}{917 \cdot 0,01} = 0,059 \text{ м} \approx 60 \text{ мм}.$$

Можно посчитать КПД процесса, считая полезной теплоту, пошедшую на плавление: $Q_n = \lambda \cdot \Delta m = 335 \cdot 10^3 \cdot 0,545 = 183 \cdot 10^3$ Дж.

Энергия, потребленная феном, $W = P \cdot t = 2 \cdot 10^3 \cdot 520 = 1040 \cdot 10^3$ Дж.

КПД процесса горячий воздух из фена – лед

$$\eta = \frac{Q_n}{W} = \frac{183 \cdot 10^3}{1040 \cdot 10^3} = 0,176 \approx 18 \text{ \%}.$$

Авторы изобретений [14, 15] предлагают срезать сосульки с крыш паром. Мы тоже попробовали, используя для резки парогенератор

Рис. 10. Резка паром [11, 12]

Karchersc 2 мощностью $P = 1500$ Вт (рис. 10). Температура пара, измеренная термопарой, оказалась 70°C . Процесс длился $t_1 = 255$ с, в 2,5 раза дольше плавления нихромом. Было расплавлено $\Delta m = 0,350$ кг льда, на это пошло $m_n = 0,200$ кг пара (определили по разности масс парогенератора до и после эксперимента). Средняя ширина реза

$$h = \frac{\Delta V}{S} = \frac{\Delta m}{\rho \cdot S} = \frac{0,200}{917 \cdot 0,01} = 21,8 \cdot 10^{-3} \text{ м} \approx 22 \text{ мм.}$$

Можно оценить КПД процесса, но ко времени резки необходимо прибавить время нагрева воды в бойлере. На режим парогенератор выходил 410 с, нагревая 800 г воды, т.е. на нагрев сработавшей части пара ушло $t_2 = 100$ с. КПД процесса парогенератор – лед

$$\eta_p = \frac{Q_n}{W} = \frac{\Delta m \cdot \lambda}{P \cdot (t_1 + t_2)} = \frac{0,350 \cdot 335 \cdot 10^3}{1,5 \cdot 10^3 (255 + 100)} = 0,22 = 22 \text{ \%}.$$

В заключение нужно сказать, что наше устройство [2] не является универсальным, но заведомо превосходит аналоги по скорости удаления сосулек, что в первую очередь связано с тем, что количество плавящегося льда в 10–30 раз меньше. Наше устройство менее энергозатратно, так как КПД выше, а потребляемая мощность меньше. Особенно оно эффективно при резке больших (1–3 м) наледей, используя в качестве источника питания САИ нихромом $\varnothing 2,3$ мм и длиной 2 м за 1 с можно проплавить 20 см^2 льда. Главный вывод данной работы заключается в том, что инверторный сварочный аппарат можно успешно использовать в качестве источника питания для низковольтных нихромовых нагревателей. Это значительно расширяет функциональные возможности нашего ледореза.

Библиографический список

1. Способы и устройства для борьбы с сосульками и наледями / С.А. Воронцова, М.М. Зуева, А.С. Семин, О.М. Зверев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2017. – № 3. – С. 163–179.
2. Устройство для удаления сосулек с крыши здания: пат. 168525 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / В.А. Голубев, О.М. Зверев, С.А. Воронцова, А.С. Семин. – № 2016135116; заявл. 29.08.2016; опубл. 07.02.2017. – Бюл. № 4.

3. Дьяков В.И. Типовые расчеты по электрооборудованию: практ. пособие. – 7-е изд., перераб. – М.: Высшая школа, 1991. – 160 с.
4. Сокунов Б.А., Грובה Л.С. Электротермические установки (электрические печи сопротивления): учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ–УПИ, 2004. – 122 с.
5. Сплавы для нагревателей / Л.Л. Жуков, И.М. Племянникова, М.Н. Миронова, Д.С. Баркая, Ю.В. Шумков. – М.: Металлургия, 1985. – 144 с.
6. Сварочное оборудование / под ред. А.И. Чвертко. – Киев: Наукова думка, 2005. – 468 с.
7. Справочник сварщика / под ред. В.В. Степанова. – Изд. 4-е. – М.: Машиностроение, 1999. – 560 с.
8. Безопасность производственных процессов: справ. / С.В. Белов, В.Н. Бринза, Б.С. Векшин [и др.]; под общ. ред. С.В. Белова. – М.: Машиностроение, 1985. – 448 с.
9. Володин В.Я. Современные сварочные аппараты своими руками. – СПб.: Наука и техника, 2008. – 304 с.
10. Семенов Б.Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов. – М.: СОЛОН-Р, 2001. – 327 с.
11. Устройство для удаления сосулек с крыш зданий: пат. 2463416 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076, B64C 27/00 / Б.Л. Макеев, П.Б. Панов, А.А. Несмеянов, А.К. Иорданишвили, А.Б. Макеев, И.Б. Долгова. – № 2010153617/11; заявл. 27.12.2010; опубл. 10.10.2012. – Бюл. № 28.
12. Теоретический и экспериментальный анализ способов и устройств для удаления снега со скатных крыш / Л.В. Задорина, В.А. Муратова, В.А. Голубев, О.М. Зверев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 1. – С. 70–85.
13. Физические величины: справ. / А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский [и др.], под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
14. Способ удаления снега и льда с крыши: пат. 2457305 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / В.Г. Кулешов, Л.М. Трубицына. – № 2011111311/03; заявл. 25.03.2011; опубл. 27.07.2012. – Бюл. № 21.
15. Способ удаления сосулек и снежных наносов и устройство для осуществления этого способа: пат. 2484215 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / А.В. Мухарденков, А.В. Рошин, В.И. Фарфонов. – № 2011143085/03; заявл. 26.10.2011; опубл. 10.06.2013. – Бюл. № 16.

References

1. Vorontsova S, Zueva M/, Semin A., Zverev O. Methods and devices for fight with frost and icicles. PNRPU. Applied ecology. Urban developohment. 2017. No. 3. Pp. 163-179.
2. Golubev V.A., Zverev O.M., Vorontsova S.A., Semin A.S. Ustroystvo dlya udaleniya sosulek s kryshi zdaniya [Device for removing icicles from the roof of the building]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 168525 (2017).
3. D'i'kov V.I. Tipovye paschety po elektrooborudovaniy: prakt. posobie [The practical manual of typical calculation of electrical equipment]. Moscow: Vysshaya Shkola, 1991. 160 pp.
4. Sokunov B.A., Grobova L.S. Elektrotermicheskie ustanovki (elektricheskie pechi soprotivleniya) [Electric resistant furnace]. Ekaterinburg: Izdatel'stvo UGTU-UPI, 2004. 122 pp.
5. Zhukov L. L., Plemyannikov I. M., Mironova M. N., Barkim D. S., Shumkov Yu.V. Splavy dlya nagrevateley [Alloys for heaters]. Moscow: Metallurgiya, 1985. 144pp.
6. Pod red. Chvertko A.I. Svarochnoye oborudovaniye [Welding equipment]. Kiev: Naukova dumka, 2005.468pp.
7. Pod red Stepanova V.V. Spravochnik svarshchica [Welder's handbook]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1999. 560 pp.
8. Belov S.V., Brinza B.S. [et al.]. Pod red. Belov S.V. Bezopasnost' proizvodstvennykh protsessov: Spravochnik [Safety of production processes]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1985. 448 pp.
9. Volodin V.Ya. Sovremennyye svarochnyye apparaty svoimi rukami [Modern welding machines with their own hands]. Sankt-Peterburg: Nauka i tekhnika, 2008. 304pp.
10. Semenov B.Yu. Silovaya elektronika dlya lyubiteley i professionalov [Power electronics for amateurs and professionals]. Moscow: SOLON-R, 2001. 327 pp.

11. Makeev B.L., Panov P.B., Nesmeynov A.A., Iordanishvili A.K., Makeev A.B., Dolgova I.B. *Ustroystvo dlya udaleniya sosulek s krysh zdaniy* [Device for removing icicles from the roof of the building]: Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2463416 (2010).

12. Zadorina L., Muratova V., Golubev V., Zverev O. Teoretical and experimental analysis methods and devices for snow removal with the frompitched roofs. PNRPU. Applied ecology. Urban developoment. 2018. No. 1. Pp. 70-85.

13. Babichev A.P., Babushkina N.A., Bratkjvskiy A.M. [et al.]. Pod red. Grigor'eva I.S., Meylihovf E.Z. *Phyzicheskie velichiny: Spravochnik* [The manual of physical quantity]. Moscow: Energoizdat, 1991. 1232 p.

14. Kuleshov V.G., Trubitsyna L. M. *Sposob udaleniya snega i l'da s kryshi* [the Method of removing snow and ice from the roof]: Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2457305 (2012).

15. Muhardenkov A.V., Roschin A.V., Farafonov V.I. *Sposob udaleniya sosulek i snezhnykh nanosov i ustroystvo dlya osushchestvleniya etogo sposoba* [Method of removal of icicles and snow drifts and the device sosudistaya this method]: Patent Rossiiskaia Federatsiia no.2484215 (2013).

Получено 4.06.2018

L. Zadorina, V. Muratova, O. Zverev, D. Malykh

NICHROME ICE CUTTER AGAINST ICE CRUST AND ICICLES

Removal of icicles is a topical problem related to the safety of people's lives. In the article a patented device based on cutting ice with a heated heating element – nichrome wire is presented. Based on the principle of operation, the utility model is called ice cutter. An experimental calculation of the nichrome heater length when using inverter welding machine as a power source is presented. Optimum lengths and diameters of a wire for this device are defined. The speed of ice cutting was determined experimentally. In the paper it is also presented an experimental comparison of the utility model with its analogues. It is concluded that the device is not universal, but obviously exceeds analogues in terms of the rate of icicles removal and is less energy consuming. In the article the possibility of use as a power sources for the ice cutter not only a generator (accumulator) of a car, but also an inverter welding machine (SAI) is considered. The calculation of the length of nichrome heater for Resanta SAI-220PN was conducted on the basis of three series of experiments. Initially, for a nichrome wire with the diameter of 2.3 mm and the length of 2 m and the one of 1.8 mm diameter and 1.8 m length it was defined the voltage dependence of the readouts of digital display (current regulator). Saturation by the voltage (current) was detected. It was made a conclusion about the optimal maximum length of the heater for different diameters of nichrome. In the second series of experiments, when the current controller and the afterburner arc were set on a minimum, the length of heaters decreased and the voltage was removed on them. When the length of the heaters is less than 0.2 m, the power on nichrome sharply falls which can be explained by triggering of the ANTI STICK function. In the last series of experiments the voltage (current) at which the heaters of different diameters are melting was determined, and the conclusion about the possibility of a single excess current corresponding to the temperature of 1000°C was made. In the final part of the paper the results of measurements of the speed of ice cutting speeds by nichrome heaters of different diameters, and by a steam generator construction and a construction dryer are given. It is shown that the nichrome ice cutter is 5 to 10 times more efficient than analogues and is less energy consuming. It is concluded that the inverter welding machine can be successfully used as power supply for low voltage nichrome heaters, which significantly increases the functionality of the ice cutter.

Keywords: removal of icicles, ice cutter, nichrome wire, heating element, inverter, inverter welding machine.

Задорина Лидия Вадимовна (Пермь, Россия) – студентка, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: lida14071998@mail.ru).

Муратова Виктория Андреевна (Пермь, Россия) – студентка, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: mva-98-vika@mail.ru).

Зверев Олег Михайлович (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры общей физики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: ckko-smt2@pstu.ru).

Малых Дмитрий Михайлович (Пермь, Россия) – технический директор ООО «ТГВ-Альянс» (614010, г. Пермь, ул. Героев Хасана, 19, e-mail: tgv-alians@mail.ru).

Zadorina Lidiia (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: lida14071998@mail.ru).

Muratova Viktoriia (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: mva-98-vika@mail.ru).

Zverev Oleg (Perm, Russian Federation) – Ph.D. Technical Sciences, Associate Professor of Department of General Physics, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: ckko-smt2@pstu.ru).

Malykh Dmitriy (Perm, Russian Federation) – Technical Director ООО «TGV-Alliance» (614010, Perm, Geroyev Khasana str., 19, e-mail: tgv-alians@mail.ru).