

Научная статья
УДК 624.144.5
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-2-172-181>
EDN: TXGLIV



ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТАБЕЛЬНОЙ СНЕГОПЛАВИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

А.А. Серебренников, А.А. Плохов ✉
Тюменский индустриальный университет,
г. Тюмень, Россия
✉ ответственный автор
plokhov_a_a@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Освобождение территорий населенных пунктов в зимний период от выпавшего снега – актуальная задача. Ее эффективное решение необходимо для обеспечения безопасности дорожного движения и мобильности. С точки зрения обеспечения экологической безопасности целесообразно не вывозить собранный снег на специальные полигоны, а обеспечивать его плавление и сброс полученной взвеси в очистные сооружения за счет использования специализированных установок. На примере г. Тюмени показано, к какому значительному экологическому ущербу может привести использование снегоприемных полигонов (свалок).

Материалы и методы. Метод исследования на моделях, имеющих одинаковую физическую природу с оригиналом (физическое моделирование), считается наиболее приемлемым, так как на моделях может быть воспроизведен и зарегистрирован ход протекания процесса в зависимости от всего комплекса влияющих параметров. Научной основой физического моделирования является теория подобия и анализа размерностей, позволяющая посредством взаимозависимости безразмерных комплексов, характеризующих изучаемый процесс, обобщить полученные экспериментальные значения и распространить их на подобные технические системы.

Результаты. На основе анализа рабочего процесса снегоплавильных установок авторами предлагается конструкция, обеспечивающая большую интенсивность плавления за счет установки активаторов.

Обсуждение и заключение. Проведена проверка работоспособности конструкции и оценка влияния основных параметров на динамику рабочего процесса. Установлены геометрические и кинематические параметры активаторов рабочего процесса, осуществляющих движение по принципу сегнерова колеса за счет реактивных струй теплоносителя, воздействующего на снежно-ледяной массив.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: утилизация снега, интенсивность плавления, рабочий орган, физическое моделирование

БЛАГОДАРНОСТИ: авторы выражают глубокую признательность Тюменскому автотранспортному цеху Управления технологического транспорта и специальной техники – филиала ООО «Газпром трансгаз Сургут» в лице начальника управления Валентина Анатольевича Шаповала за оказанное содействие в изготовлении и проверке работоспособности опытно-промышленной установки. Авторы благодарят анонимных рецензентов за профессиональную оценку предоставленной к публикации работе.

Статья поступила в редакцию 24.12.2024; одобрена после рецензирования 21.02.2025; принята к публикации 17.04.2025.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. **Конфликт интересов отсутствует.**

Для цитирования: Серебренников А.А., Плохов А.А. Определение рабочих параметров транспортабельной снегоплавильной установки // Вестник СибАДИ. 2025. Т. 22, № 2. С. 172-181. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-2-172-181>

© Серебренников А.А., Плохов А.А., 2025



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-2-172-181>

EDN:TXGLIV

DETERMINATION OF OPERATING PARAMETERS OF MOBILE SNOW MELTING PLANT

Anatoliy A. Serebrennikov, Andrey A. Plokhov ✉

Tyumen Industrial University,
Tyumen, Russia

✉ corresponding author
plokhov_a_a@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. Clearing the territories of populated areas from fallen snow in winter is an urgent task. Its effective solution is necessary to ensure road safety and mobility. From the point of view of environmental safety, it is expedient not to remove the collected snow to special landfills, but to provide its melting and discharge of resulting suspension into treatment facilities by the applying of specialized installations. On the example of Tyumen city, it is shown the significant scale of environmental damage that can be caused by the use of snow-accepting landfills (dumps).

Materials and methods. The method of research on the models having the same physical nature with the original (physical modeling) is considered to be the most acceptable, as the whole cycle of the process depending on the full complex of influencing parameters can be reproduced and fixed on the models. The scientific basis of physical modeling is the theory of similarity and analysis of dimensions, which allows, by means of interdependence of dimensionless complexes characterizing the studied process, to generalize the obtained experimental values and to extend them to similar technical systems.

Results. Based on the analysis of the operating process of snow melting plants the authors propose a design that provides greater melting intensity due to the installation of activators.

Discussion and conclusion. The design performance was tested and the influence of the main parameters on the dynamics of the operating process was assessed. The geometric and kinematic parameters of the working process activators were established, which move according to the principle of a Segner's wheel due to the jet streams of the heater affecting the snow and ice massif.

KEYWORDS: snow disposal, melting intensity, operating unit, physical modeling

ACKNOWLEDGEMENT: The authors express their deep gratitude to the Tyumen Motor Transport Workshop of the Department of Technological Transport and Special Technical Equipment – a branch of “Gazprom Transgaz Surgut”, Limited Liability Company, represented by the head of Management department, Valentin Anatolyevich Shapoval, for the assistance provided in the manufacture and practical operability testing of the pilot sample of the industrial unit. The authors thank the anonymous reviewers for their professional assessment of the work submitted for publication.

The article was submitted: January 15, 2025; approved after reviewing: February 12, 2025; accepted for publication: April 17, 2025.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Serebrennikov A.A., Plokhov A.A. Determination of operating parameters of mobile snow melting plant. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2025; 22 (2): 172-181. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-2-172-181>

© Serebrennikov A.A., Plokhov A.A., 2025



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В зимние периоды в населенных пунктах, расположенных на большинстве территорий Российской Федерации, необходимо решать задачу своевременной очистки жизнеобеспечивающих локаций от снежных осадков¹ [1]. Эта задача может быть своевременно и качественно решена только при наличии транспортно-технологических и транспортных средств необходимого перечня². В этот перечень всё чаще включаются и снегоплавильные установки (СПУ)³ [2, 3]. Целесообразность их использования подтверждается снижением транспортных расходов по вывозу снежно-ледовой массы до мест разгрузки⁴ [4]. В случаях использования СПУ, которые располагаются в пределах городской территории, транспортные плечи оказываются гораздо более короткими в отличие от расстояний, необходимых для транспортировки до полосы отвода снегоприёмных полигонов.

Но ещё в большей степени применение СПУ целесообразно с точки зрения обеспечения экологической безопасности [5, 6]. Зачастую территории и акватории в месте (и вокруг места) приема снега становятся ареалами недопустимого уровня негативного воздействия на окружающую среду и человека⁵ [7, 8, 9]. Например, по оценке специально созданной комиссии в 2022 г., ущерб от использования снежного полигона вблизи озера Песьяное в г. Тюмени, оценен в 77,5 млн руб.⁶ Общая площадь поврежденного участка, требующего рекультивации и восстановления земель, составила 29,3 га, такая же проблема существует и в других городах России⁷ [10, 11].

В целях неповторения подобного ущерба Администрацией г. Тюмени было оказано содействие инвестору и проведены все необходи-

мые организационные мероприятия по вводу в эксплуатацию двух дизельных транспортабельных снегоплавильных установок. Однако их использование в течение двух зимних сезонов показало, что заявленная производительность не достигается, а стоимость приема снежно-ледовой массы для плавления в несколько раз превышает ранее существующую (на полигонах). По этой причине хозяйствующие субъекты, осуществляющие деятельность, размещающаяся на значительных площадях, вынуждены искать альтернативные решения и снижать непроизводительные затраты, связанные с утилизацией снежно-ледовой массы.

В частности, одно из подразделений ООО «Газпром трансгаз Сургут», располагающееся в г. Тюмени и имеющее необходимые ресурсы (транспортные, транспортно-технологические средства, инфраструктурные объекты), привлекло научный потенциал Тюменского индустриального университета для разработки и создания эффективной конструкции снегоплавильной установки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучение рабочего процесса по обеспечению фазового перехода снежно-ледовой массы (из твердого состояния в жидкое) осложняется тем, что он протекает в гетерогенной (неоднородной) среде, состоящей из массива с разными характеристиками отдельных частей (по размерам включений, плотности, наличию примесей) во взаимодействии с теплоносителем. Использование методов исследования структуры потоков или метода математического моделирования в таких случаях, как правило, не позволяют достаточно достоверно и в полной мере отразить физическую сущность рассматриваемого процесса [12].

¹ Паршаков Н.А., Чабанова Е.В. Проблема утилизации снега при содержании улично-дорожной сети в зимний период в Кировском районе г. Перми // Химия. Экология. Урбанистика. 2024. Т. 3. С. 178–181. EDN AZHPVL.

² Шенюгин М.В., Данилина А.А. Повышение эффективности городских коммунальных служб путем внедрения современных снегоплавильных установок // Вестник магистратуры. 2021. № 5-6(116). С. 36–37. EDN IXZVRU.

³ Дю Х.Д. Применение мобильных снегосплавных пунктов в России // Студенческий вестник. 2022. № 41-6(233). С. 47–48. EDN ZFPXVG.

⁴ Васильев А.П., Ушаков В.В. Анализ современного зарубежного опыта зимнего содержания дорог и разработка предложений по его использованию в условиях России. М.: Информавтодор, 2003. 60 с.

⁵ Серебренников А.А. Методы математического моделирования процессов смешивания // Проблемы адаптации техники к суровым условиям. Доклады международной научно-практической конференции. Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. С. 214–218.

⁶ Кондратенко Т.Е., Морозов И.В. Снегоплавильные установки для утилизации снега в г. Хабаровске // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2023. № 1. С. 108–112. EDN CYLWVP.

⁷ Гатауллина И.М. Применение снегоплавильной установки с тепловым насосом // Инженерные кадры - будущее инновационной экономики России. 2020. № 1. С. 29–31. EDN RCZZXL.

Метод исследования на моделях, имеющих одинаковую физическую природу с оригиналом (физическое моделирование), является наиболее приемлемым, так как на моделях может быть воспроизведен и зарегистрирован ход протекания процесса в зависимости от всего комплекса влияющих параметров. Научной основой физического моделирования является теория подобия и анализа размерностей, позволяющая посредством взаимозависимости безразмерных комплексов, характеризующих изучаемый процесс, обобщить полученные экспериментальные значения и распространить их на подобные технические системы [13].

В качестве первой физической модели была использована снегоплавильная установ-

ка, изготовленная на предприятии на базе двухосного автомобильного прицепа (рисунок 1).

Наблюдения за интенсивностью фазового перехода при изменениях температуры теплоносителя производились совмещением фотографического и термографического методов. Реальная картина протекания рабочего процесса фиксировалась цифровой камерой и тепловизором (рисунок 2).

Тепловизор имел высокую чувствительность, позволяющую отличать разницу температур двух соседних участков в $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$. Широкоугольная линза (угол обзора 32°) обеспечивала возможность фиксации распределения температур на больших площадях наблюдения.



Рисунок 1 – Снегоплавильная установка на базе автоприцепа:
а – общий вид установки; б – общий вид рабочего процесса
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Trailer-based snow melting plant
a – snow melting plant (overall view),
b – the operating process (overall view),
Source: compiled by the authors.



Рисунок 2 – Типовой кадр фиксации рабочего процесса:
а – общий вид; б – инфракрасное изображение
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Typical workflow frame record:
a – overall view; b – infrared view.
Source: compiled by the authors.

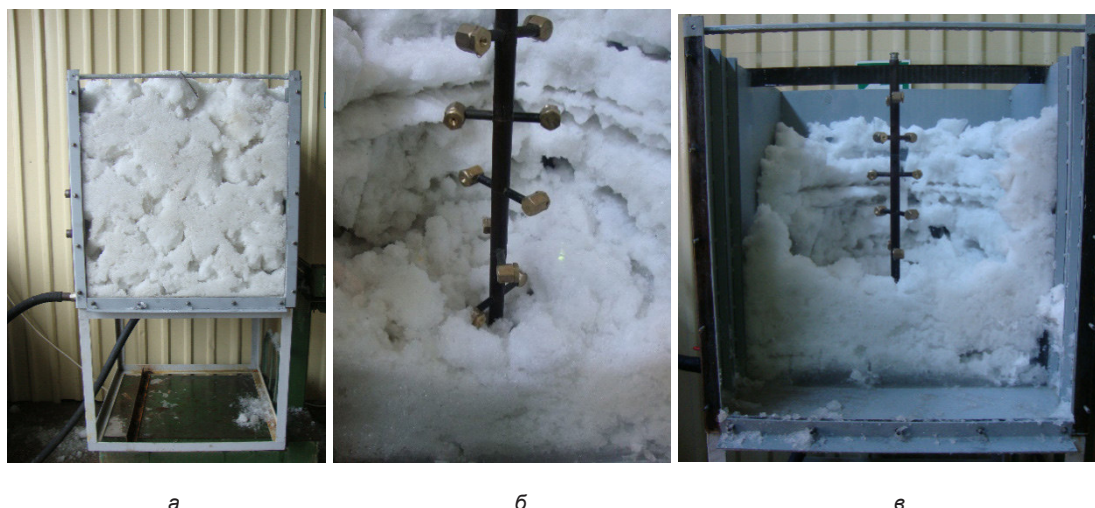


Рисунок 3 – Лабораторная физическая модель:
 а – общий вид после загрузки; б – типовой кадр фиксации рабочего процесса;
 в – общий вид после изменения объема бункера
 Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Laboratory physical model:
 a – overall view after loading, b – typical workflow frame record,
 c – overall view after changing the volume of the hopper
 Source: compiled by the authors.

Детальное описание устройства представлено в патенте⁸. Прежде всего, необходимо было проверить работоспособность предлагаемой конструкции⁹ [14, 15]. Проверка производилась на лабораторной физической модели (рисунок 3).

Кроме того, перемещаемая передняя стенка, изготовленная из оргстекла, обеспечивала возможность фиксации количества снега с течением времени работы и тем самым оценки интенсивности процесса плавления.

В отличие от стационарных снегоплавильных пунктов, в транспортабельных СПУ снежно-ледовая масса загружается в плавильную емкость, после чего на нее подается горячая вода через форсунки, расположенные по периметру верхнего контура емкости.

Далее весь массив, находящийся в окружении теплоносителя, подвергается процессам, возникающим на любой границе раздела двух фаз и приводящим к изменению свойств вещества при переходе от тела массива к межфазным поверхностным слоям¹⁰.

Для наблюдения за этими процессами проведен ряд экспериментов по выяснению влияния температуры теплоносителя, плотности снежно-ледовой массы и наличия механических примесей на скорость плавления.

Процедура наблюдений и измерений осуществлялась в специально подготовленной емкости, в которой температура теплоносителя поддерживалась на заданной величине.

После взвешивания каждого образца он принудительно при помощи щипцового захвата погружался в емкость. Вытесненная образцом вода стекала на лоток, расположенный под емкостью, и замерялся ее объем. Зная массу и фактический объем, устанавливалась плотность каждого образца. Время плавления фиксировалось, и определялись требуемые зависимости.

Характер и интенсивность протекания рабочего процесса в предлагаемой конструкции СПУ во многом зависит от вида форсунок и величины давления, подаваемого через форсунки теплоносителя [16, 17].

⁸ Пат. 189774 Российская Федерация, МПК E01H 5/10. Установка для плавления снега: № 2019100267: заявл. 09.01.2019; опубл. 03.06.2019 / Серебренников А.А., Мерданов Ш.М., Шаруха А.В., Плохов А.А.; патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет» (ТИУ).

⁹ Серебренников А.А., Плохов А.А., Панов В.И. Рекомендации по созданию стационарной установки таяния снега // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Междун. науч.- практ. конф. Тюмень, 2016. Т 5. С. 113–117.

¹⁰ Фролов Ю.Г. Коллоидная химия: поверхностные явления и дисперсные системы. М.: Альянс, 2014. 464 с.



Рисунок 4 – Общий вид воздействия на снежный массив:
а – форсунка с углом распыла 65°; б – форсунка с углом распыла 30°
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – The impact overall view on the snow massif
а – nozzle with a spray angle 65°; б – nozzle with a spray angle 30°
Source: compiled by the authors.

Экспериментальные исследования проводились на специально сформированном полигоне, представляющем собой вертикальную снежную стенку длиной 20 м (рисунок 4). Снежно-ледовая масса имела плотность, близкую к требуемой для наблюдений [18, 19].

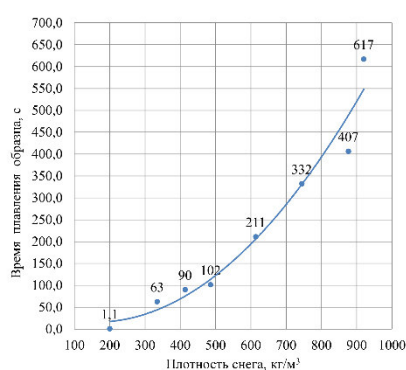
Таким образом, произведен необходимый комплекс экспериментов, устанавливающий влияние основных параметров на протекание рабочего процесса плавления снежно-ледовой массы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

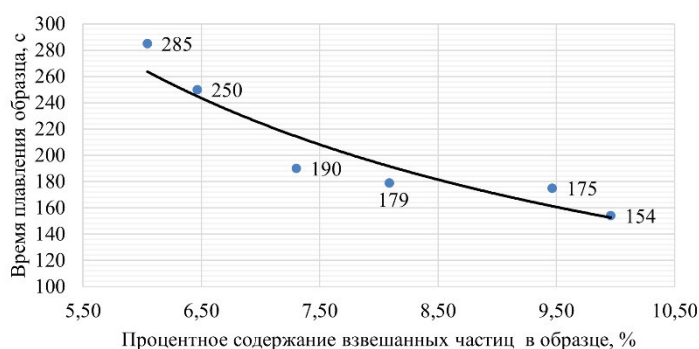
На опытном образце установлено, что конструкции транспортабельных СПУ, предлагаемые производителями к использованию, обеспечивают интенсивное плавление снежно-ледовой массы только в начальный период

работы установки. После того, как примерно 20% от общего загруженного объема оказываются расплавлены, интенсивность рабочего процесса резко замедляется. Объясняется это тем, что снежно-ледовая масса располагается в центре приемной емкости и подобно айсбергу на водном пространстве имеет ограниченную площадь контакта с теплоносителем. Давление, которое обеспечивает подачу теплоносителя через форсунки, гасится толщей воды, находящейся вокруг массы снега, и не достигает необходимого увеличения площади межфазной поверхности (рисунок 5).

Установлено влияние физико-механических характеристик на интенсивность протекания рабочего процесса. Подробное описание методики и условий проведения экспериментальных исследований опубликованы ранее [19].



а



б

Рисунок 5 – Динамика плавления снежно-ледового массива в зависимости:
а – от плотности; б – от содержания механических примесей
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Dynamics of snow-ice massif melting depending on:
а – density, б – the content of mechanical impurities
Source: compiled by the authors.

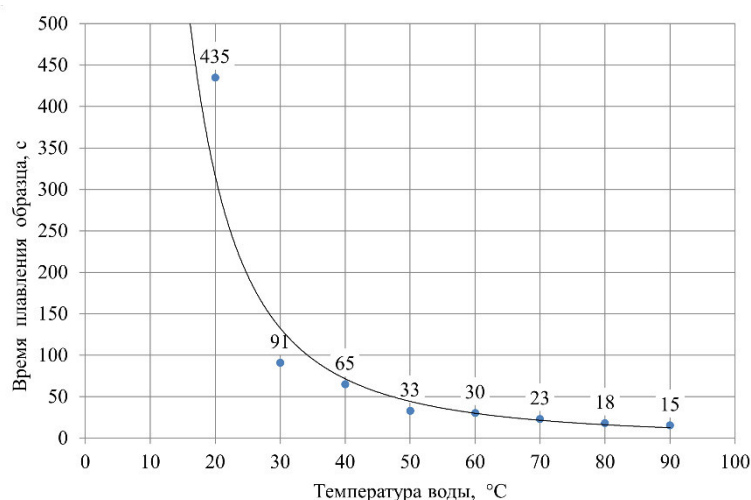


Рисунок 6 – Динамика плавления снежно-ледового массива в зависимости от температуры воды
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Dynamics of snow-ice melting depending on water temperature
Source: compiled by the authors.

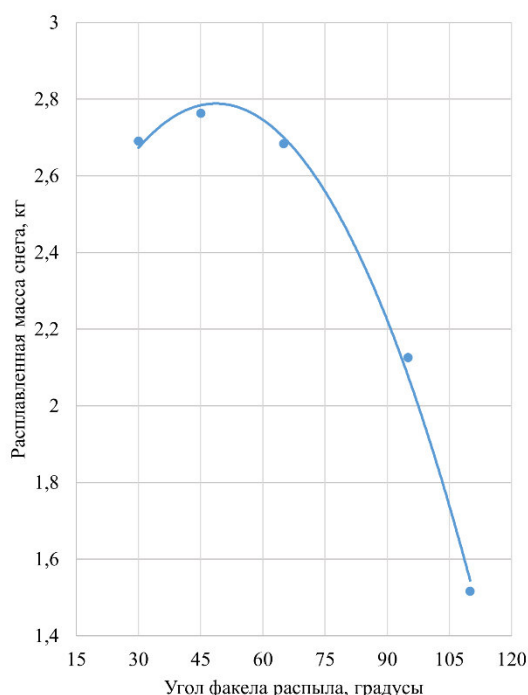


Рисунок 7 – Влияние угла факела распыла на рабочий процесс
Источник: составлено авторами.

Figure 7 – The spray angle influence on the workflow
Source: compiled by the authors.

Доказано, что температура теплоносителя является наиболее важным фактором, определяющим скорость плавления (рисунок 6).

Установлено, что наибольшую эффективность обеспечивают плоскоструйные форсунки, с факелом распыла 45 градусов (рисунок 7). Интенсивность плавления по глубине исследована при постоянном давлении (1,5 атмосферы). Такое давление являлось минимально необходимым для активации рабочего органа и обеспечивало воздействие на 0,7 м по глубине массива.

Зная оптимальный угол факела распыла, можно просчитать шаг установки и тем самым количество форсунок для конкретного типа-размера СПУ.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

После того, как было выявлено влияние основных параметров на рабочий процесс, возникает необходимость проверки, насколько расчетная (прогнозируемая) интенсивность течения рабочего процесса будет соответствовать действительной.

Проверку можно провести только в том случае, если имеется работающая снегоплавильная установка.

На основе результатов исследований и сформулированных рекомендаций было принято решение об изготовлении на предприятии СПУ с емкостью бункера ~ 7,5 куб. м (2,0 м x 3,7 м x 1,0 м). По произведенным расчетам СПУ таких размеров с установленными и рекомендованными на основании проведенных исследований параметрами рабочего процесса должна была составить 12–13 м³/ч.

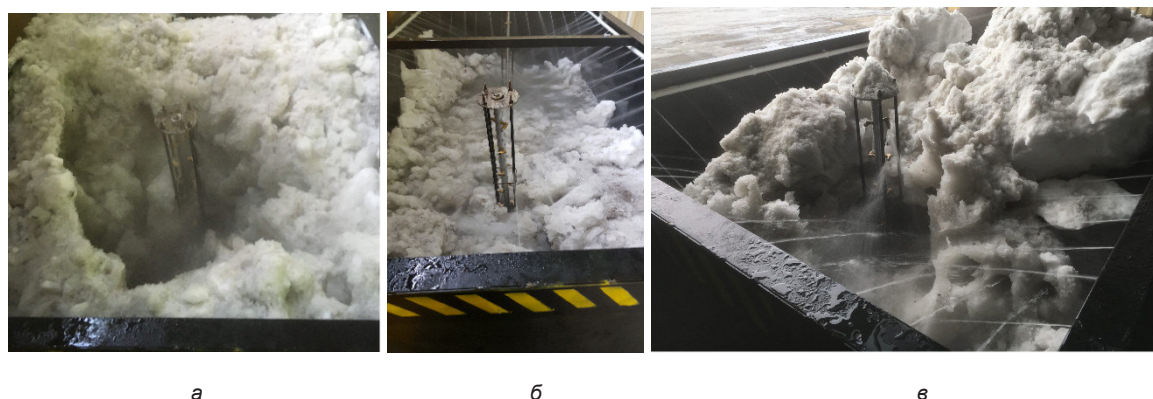


Рисунок 8 – Общие виды рабочего процесса при подаче теплоносителя:
а – через активаторы; б – через контур орошения; в – совместное воздействие
Источник: составлено авторами.

Figure 8 – Overall view of the workflow supplying the heat
a – through activators, b – through the irrigation circuit, c – combined influence
Source: compiled by the authors.

После изготовления и проверки работоспособности проведены три серии экспериментов. В соответствии с выработанными рекомендациями [16] исследования на физической модели проводились при плотности снежно-ледовой массы $\approx 600 \pm 50 \text{ кг/м}^3$ и температуре теплоносителя $\approx 30^\circ\text{C}$. Ранее было доказано [16], что наличие взвешенных частиц, вмержших в снежно-ледовую массу, будет незначительно ускорять процесс плавления, поэтому контроль этого параметра в дальнейшем не проводился.

В первой серии СПУ загружалась снегом и осуществляла принудительное плавление снежных масс при помощи подачи теплоносителя только через рабочие органы – активаторы (рисунок 8, а).

Время от начала орошения и до полного плавления снега фиксировалось.

В первой серии экспериментов среднее время плавления составило 37 мин 30 сек, т.е. интенсивность плавления составила расчётные $12 \text{ м}^3/\text{ч}$. Во второй серии экспериментов СПУ проводила плавление снежных масс при помощи верхнего контура орошения (рисунок 8, б).

Среднее время плавления снега составило 45 мин 45 сек. Таким образом, производительность при использовании традиционного способа плавления оказалась на 22% меньше.

В третьей серии экспериментов плавление снежных масс происходило комбинированным способом (рисунок 8, в). Одновременно осуществлялась подача теплоносителя через активаторы, а также через систему орошения, установленную по периметру верхнего конту-

ра бака. Среднее время плавления снежных масс составляет 35 мин 15 сек.

Таким образом, комбинированный способ подачи теплоносителя целесообразен в первоначальный период (после заполнения бункера). Однако наблюдением установлено, что по истечении 15–20 мин работы верхний контур орошения целесообразно отключать, так как его воздействие с этого момента интенсивность не увеличивает и, следовательно, приводит к неоправданным энергозатратам.

Рабочий процесс СПУ может быть интенсифицирован за счет увеличения межфазной поверхности посредством разрушения массива снежно-ледовой массы.

На основе анализа сформированного банка данных по наблюдению за рабочим процессом и тенденций, полученных исходя из патентного анализа, доказано, что могут быть предложены более совершенные конструкции, обеспечивающие интенсификацию рабочего процесса.

Раскрыто влияние физико-механических характеристик снежно-ледяного массива на процесс его фазового перехода из твердого состояния в жидкое.

Установлены геометрические и кинематические параметры активаторов рабочего процесса, осуществляющих движение по принципу сегнерова колеса за счет реактивных струй теплоносителя, воздействующего на снежно-ледяной массив.

Подтверждена методика определения влияния основных параметров на протекание рабочего процесса плавления снежно-ледового массива.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Строкин А.С., Чудайкин А.Д., Поляков Р.С. Экологические проблемы утилизации снега в городе // *Высокие технологии в строительном комплексе*. 2019. № 2. С. 56–60. EDN MVAFNJ.
2. Кулдошина В.В., Жогаль А.В., Лупунчук М.Ю. Современные подходы к решению проблем утилизации снега // *Международный технико-экономический журнал*. 2018. № 5. С. 79–84. EDN YUZNVR.
3. Попов В.Г., Попов А.В., Жигулина Т.Н. Новые технологии и машины для сбора и утилизации снежного покрова // *Строительные и дорожные машины*. 2020. № 12. С. 31–40. EDN DCYXZV.
4. Заиченко П.Д., Заиченко Н.Д. Исследование работы снегоплавильных установок и систем утилизации снега // *Проблемы экспертизы в автомобильно-дорожной отрасли*. 2024. № 3(12). С. 56–64. EDN XLRUQI.
5. Канунников И.Н. Сравнительный анализ эксплуатационных характеристик снегоплавильных установок с различными типами теплообменников // *Актуальные исследования*. 2024. № 16-1(198). С. 35–38. EDN UFVYQQ.
6. Полетаев И.Ю. Использование новых технологических процессов и их влияние на оценку мероприятий по повышению энергоэффективности в регионе (на примере снижения негативных экологических последствий по утилизации снега в городах РФ) // *Вопросы региональной экономики*. 2021. № 4(49). С. 101–106. EDN PIQCQL.
7. Тарасов О.Ю., Крапивина Н.Ю. [и др.]. Городские снежные свалки как источник загрязнения поверхностных вод // *Георесурсы*. 2011. № 2. С. 31–33.
8. Дроздова А.Д., Смирнова С.В. Разработка информационно-измерительного канала управления мобильной снегоплавильной установки // *Вестник НЦБЖД*. 2022. № 3(53). С. 174–183. EDN JVEUXJ.
9. Ермаков М.Т., Рожкова О.В., Сандибекова С.Г., Толысбаев Е.Т. Проблемы утилизации снега и прогрессивные пути решения в условиях города Нур-Султана // *Вода и экология: проблемы и решения*. 2021. № 1(85). С. 20–29. DOI: <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2021.26.1.20-29>. EDN QUKTXS.
10. Лобкина В.А., Михалев М.В. Оценка опыта эксплуатации снежных полигонов в России, альтернативные способы борьбы со снегом // *Экология и промышленность России*. 2019. Т. 23, № 1. С. 60–65. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-1-60-65>. EDN YSZPQD.
11. Новичков С.В., Ростунцова И. А., Щеголева Н.В. Использование теплоты уходящих газов водогрейной котельной для утилизации снежной массы // *Энергобезопасность и энергосбережение*. 2019. № 5. С. 20–24. DOI: <https://doi.org/10.18635/2071-2219-2019-5-20-24>. EDN TBRQAV.
12. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред: монография. Главная редакция физи-

ко-математической литературы издательства «Наука». М., 1978, 336 с.

13. Корецкий В.Е. Моделирование процесса таяния снега в снегоплавильной камере // *Вестник МГСУ*. 2008. № 2. С. 173–179.

14. Серебренников А.А., Плохов А.А. Влияние специального рабочего органа на интенсивность плавления снежной массы // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2020. № 10. С. 476–483.

15. Серебренников А.А., Плохов А.А. Физическое моделирование рабочего процесса снегоплавильной установки с активным рабочим органом // *Экологические системы и приборы*. 2020. № 12. С. 26–35.

16. Пушкарев А.Е., Головин К.А., Абросимова А.А. [и др.] Экспериментальные исследования процесса формирования гидроабразивной струи и разрушения снежно-ледяных отложений гидроструйным инструментом // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2024. № 7. С. 499–502. DOI: <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2024-7-499-500>. EDN IZPWPY.

17. Репин С.В., Пушкарев А.Е., Воронцов И.И. [и др.]. Разработка новой машины для очистки дорог от снежно-ледяных образований // *Строительные и дорожные машины*. 2022. № 4. С. 33–37. EDN ZMBZPK.

18. Серебренников А.А., Плохов А.А. Динамика процесса тепловой утилизации снега в зависимости от основных факторов // *Экологические системы и приборы*. 2019. № 7. С. 3–11.

19. Егоров А.Л., Мерданов Ш.М., Костырченко В.А., Мадьяров Т.М. Повышение производительности снеготаялки за счет установки дополнительного рабочего органа // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 2-2. С. 251–254. EDN VORLRT.

REFERENCES

1. Strokin A.S., Chudaykin A.D., Polyakov R.S. The environmental problem of disposing of snow in the city. *Scientific-and-Technical Journal. High technologies in construction complex*. 2019; 2: 56–60. (in Russ.) EDN MVAFNJ.
2. Kuldoshina V.V., Zhogal A.V., Lupunchuk M.Yu. Modern approaches to solution of problems of utilization of snow. *International Technical and Economic Journal*. 2018; 5: 79–84. (in Russ.) EDN YUZNVR.
3. Popov V.G., Popov A.V., Zhigulina T.N. New technologies and machines for collecting and recycling snow cover. *Construction and road machines*. 2020; 12: 31–40. (in Russ.) EDN DCYXZV.
4. Zaichenko P.D., Zaichenko N.D. Research of snow melting plants and snow recycling systems. Automotive and Road expert evaluation. *Automotive and Road expert evaluation*. 2024; 3(12): 56–64. (in Russ.) EDN XLRUQI.
5. Kanunnikov I.N. Comparative analysis of the performance characteristics of snow-melting plants with different types of heat exchangers. *Aktualnye*

issledovaniya. 2024; 16-1(198): 35–38. (in Russ.) EDN UFVYQQ.

6. Poletaev I.Yu. The use of new technological processes and their impact on the assessment of energy efficiency measures in the region (on the example of reducing the negative environmental consequences of snow disposal in Russian cities). *Voprosy regionalnoy ekonomiki*. 2021; 4(49): 101–106. (in Russ.) EDN PIQCQL.

7. Tarasov O. Yu., Krapivina N. Yu. et al. Urban snow dumps as a source of surface water pollution. *Georesources*. 2011; 2: 31–33. (in Russ.)

8. Drozdova A.D., Smirnova S.V. Development of an information and measurement control channel for a mobile snow melting plant. *Vestnik NTsBZhD*. 2022; 3(53): 174–183. (in Russ.) EDN JVEUXJ.

9. Ermekov M.T., Rozhkova O.V., Sandibekova S.G., Tolysbaev E.T. Challenges of snow disposal and innovative solutions in the conditions of nur-sultan. *Water and Ecology: Problems and Solutions*. 2021; 1(85): 20–29. (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2021.26.1.20-29>. EDN QUKTXS.

10. Lobkina V., Mikhalev M. Assessment of Operating Experience of Snow Polygons in Russia, Alternative Ways of Dealing with Snow. *Ecology and Industry of Russia*. 2019; 23(1): 60–65. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-1-60-65>

11. Novichkov S.V., Rostuntsova I.A., N.V. Shchegoleva Boiler house exhaust gases heat for snow disposal. *Energy efficient technologies*. 2019, No. 5. P. 20–24. DOI: <https://doi.org/10.18635/2071-2219-2019-5-20-24>. (in Russ.) EDN TBRQAV.

12. Nigmatulin R.I. Fundamentals of the mechanics of heterogeneous media. *Main edition of physical and mathematical literature of the publishing house «Nauka»*. Moscow, 1978: 336. (in Russ.)

13. Koretsky V. E. Modeling the process of snow melting in a snow-melting chamber. *Vestnik MGSU*. 2008; 2: 173–179. (in Russ.)

14. Serebrennikov A.A., Plokhov A.A. Influence of a special working body on the intensity of melting of snow mass. *Izvestiya Tula State University (Izvestiya TulGU)*. 2020; 10: 476–483. (in Russ.)

15. Serebrennikov A. A., Plokhov A. A. Physical modeling of the working process of a snow-melting installation with an active working body. *Ecological systems and devices*. 2020; 12: 26–35. (in Russ.)

16. Pushkarev A.E., Golovin K.A., Abrosimova A.A. [etc.] Experimental studies of the process of formation of a water-abrasive jet and destruction of snow-ice deposits with a hydraulic jet tool. *Izvestiya Tula State University (Izvestiya TulGU)*. 2024; 7: 499–502. (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.24412/2071-6168-2024-7-499-500>. EDN IZPWPY.

17. Repin S.V., Pushkarev A.E., Vorontsov I.I. [etc.] Development of a new machine for cleaning roads from snow and ice formations. *Construction and road machines*. 2022; No. 4: 33–37. (in Russ.) EDN ZMBZPK.

18. Serebrennikov A.A., Plokhov A.A. Dynamics of the process of thermal utilization of snow depending

on the main factors. *Ecological systems and devices*. 2019; 7: 3–11. (in Russ.)

19. Egorov A.L., Merdanov Sh.M., Kostyrchenko V.A., Madyarov T.M. Improving performance snow melting by installing additional working bodies. *Fundamental Research*. 2016; 2-2: 251–254. (in Russ.) EDN VORLRT.

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Серебренниковым А.А. Методика, экспериментальная и аналитическая составляющие научно-го синтеза разрабатывались и реализовывались.

Плоховым А.А. Методика, экспериментальная и аналитическая составляющие научного синтеза разрабатывались и реализовывались.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Serebrennikov A.A. The methodology, experimental and analytical components of scientific synthesis development and implementation.

Plokhov A.A. The methodology, experimental and analytical components of scientific synthesis development and implementation.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Серебренников Анатолий Александрович – д-р техн. наук, проф. Тюменского индустриально-го университета, главный научный сотрудник (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1649-5269>,

SPIN-код: 7915-6839

e-mail: sereb_a_a@mail.ru

Плохов Андрей Александрович – ассистент Тюменского индустриального университета, (625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38); инженер II категории ПТО, ООО «Газпром трансгаз Сургут» УТТУСТ Тюменский АТЦ (Старый Тобольский тракт, 6-й километр, д. 16).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6268-0396>

SPIN-код: 4799-9875

e-mail: plokhov_a_a@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Serebrennikov Anatoliy Al. – Dr. of Sci. (Engineering), Professor of Tyumen Industrial University, Chief Researcher (38, Volodarsky Street, Tyumen, 625000).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1649-5269>,

SPIN-code: 7915-6839

e-mail: sereb_a_a@mail.ru

Plokhov Andrey A. – Assistant of Tyumen Industrial University, (38, Volodarsky Street, Tyumen, 625000); Engineer of the 2nd category, Production and Technical Department, "Gazprom Transgaz Surgut" Limited Liability Company, Administration of Technological Transport and Special Equipment, "Tyumen Agrotechnical Center" Joint Stock Company (building 16, the 6-th kilometer, Staryi Tobolskiy Trakt, Tyumen).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6268-0396>

SPIN-code: 4799-9875

e-mail: plokhov_a_a@mail.ru