

VI региональная открытая конференция по научно-техническому
творчеству школьников «Лабиринты науки»
Секция «Экология»

Тема

Разработка модели по утилизации снега для городской среды (на примере г.
Ярославля)

Работу выполнила:

Кузьмина Евгения Андреевна

учащаяся 9«Д» класса

МОУ СШ Образовательный комплекс № 6

Центр образования школа № 58

Научные руководители:

Никитина Елена Леонидовна

доцент, кандидат технических наук ЯрГТУ

Комарова Елена Валериановна

учитель биологии

МОУ СШ Образовательный комплекс № 6

г. Ярославль

2025г

Оглавление:

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Цель работы:	3
Задачи исследования:.....	4
1 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ	5
1.1. Климатическая характеристика г. Ярославля	5
1.2. Законодательная база в решении проблем городской среды	5
1.3. Объемно-массовые характеристики снега, подлежащего утилизации.	6
1.4. Расчет удельных и суммарных затрат на утилизацию снега.....	6
1.5. Технологическая схема стационарного снегоплавильного комплекса (СПП) с рекуперацией воды.	8
Технологическая схема флотационно-фильтрационной установки СПП. .	8
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	10
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	11
Приложение 1	12
Расчёт площади дорог Ярославля для целей уборки снега	12
Приложение 2	14
Расчет удельных и суммарных затрат на утилизацию снега.....	14
Приложение 3	15
Расчет оптимальной сети стационарных снегоплавильных пунктов (ССП) для Ярославля	15
Приложение 4	17
Материальный баланс очистки талых вод для одного комплекса.....	17
Приложение 5	20
Расчет потребности воды для приготовления антигололедного реагента	20
Приложение 6	21
Карта-схема расположения СПП на промышленных предприятияхи зон их обслуживания	21

ВВЕДЕНИЕ

Решение уборки снега в городе Ярославле очень актуальный и болезненный для Ярославля вопрос, на настоящий момент его эффективного и экологического решения в городе нет. Кроме этого Ярославль крупный промышленный центр с большим числом промышленных предприятий, нуждающихся в утилизации тепла. Само собой напрашивается разработка решения, которое эффективным и экологическим способом решит и проблему утилизации снега. Деятельность по уборке и утилизации снега в городе Ярославле регламентируется многоуровневой системой нормативно-правовых актов[1-2]. Проведенный анализ существующей системы утилизации снега в Ярославле выявил системные недостатки, характерные для многих российских городов: преобладание транспортно-зависимой модели с вывозом снега на полигон. Такая модель приводит к чрезмерной нагрузке на дорожную инфраструктуру, значительным бюджетным затратам и системному ущербу для городской экологии, выражающемуся в загрязнении почв, водных объектов и деградации зеленых насаждений. Снег с улиц Ярославля содержит: нефтепродукты (топливо, масла, продукты износа шин), противогололедные реагенты (хлориды натрия и кальция, реагент «Бионорд»), песок, бытовые отходы. Этот состав делает недопустимым самопроизвольное таяние снега без контроля и очистки талых вод. Для создания надежной, экономически эффективной и экологически безопасной системы утилизации снега предлагается использование снегоплавильных пунктов (ССП), интегрированных в промышленные предприятия, обладающими вторичным энергетическим ресурсом -теплом.

Цель работы:

разработка системы утилизации снега с территории Ярославля

Задачи исследования:

- Проанализировать объём снега, вывозимого с улиц Ярославля и определить места расположения снежных свалок и снегоплавильных пунктов, имеющих в городе.
- Определить потенциальные источники вторичного энергетического ресурса среди промышленных предприятий в черте города или в пригородной зоне (в радиусе 5-8 км от основных снегосборных зон)
- Оценить количественные и качественные (температура, состав теплоносителя) параметры доступного вторичного энергетического ресурса.
- Разработать модель переработки снежных масс, образующихся при уборке улиц и оценить ее эффективность.

Объект

Процесс уборки и утилизации снега в городской среде Ярославля.

Предмет

Технологические и организационные решения для создания системы снегоплавильных пунктов (ССП).

1 ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Климатическая характеристика г. Ярославля

Город Ярославль расположен в зоне умеренно-континентального климата, для которого характерны продолжительные зимы с устойчивым снежным покровом. Климатические условия, определяющие режим снегонакопления, характеризуются следующими параметрами:

Продолжительность холодного периода: Снежный покров устанавливается во второй половине ноября и сохраняется в среднем 140 дней, сходя в первой половине апреля. Климат характеризуется периодическими зимними оттепелями, которые необходимо учитывать при проектировании, так как они влияют на плотность и влажность снежной массы. Зима умеренно снежная, с пиком снегонакопления в феврале. Погодные условия в этот период часто сопровождаются метелями и обильными снегопадами.

1.2. Законодательная база в решении проблем городской среды

Основные обязательные требования к состоянию улично-дорожной сети в зимний период устанавливаются национальным стандартом[3]. Более детальная организация работ, включая вопросы вывоза и утилизации, определяется документами Ярославской области и города Ярославля. Постановление мэрии города Ярославля [2] регламентирующее временные интервалы для начала и окончания уборки после снегопада, послойной очистки и вывоза снега.

Реализация проекта по строительству стационарных пунктов на базе производственных предприятий позволит не просто решить текущие проблемы, но и создать современную инфраструктуру, соответствующую принципам «умного» города и циркулярной экономики, превратив отходы (снег) и неиспользуемый ресурс (рекуперативное тепло) в элемент эффективной городской системы.

1.3. Объемно-массовые характеристики снега, подлежащего утилизации.

Таблица1. Объемно-массовые характеристики снега, подлежащего утилизации

Показатель	Средний уровень за зиму	Пиковый уровень (февраль)	Разовый уровень (сильный снегопад)
Высота снега, см	35 - 50	60 - 80	10
Объем снега, млн. м ³	1,79 - 2,55	3,06 - 4,08	0,5
Масса снега, тыс. тонн (при $\rho=300$ кг/м ³)	535,5 - 765	918 - 1 224	151
Запас воды, млн. м ³	0,71 - 1,02	1,22 - 1,63	0,2

Подробный расчет снежных масс приведен в Приложении 1

По данным мэрии, за январь 2024 с улиц Ярославля было вывезено 97000м³ снега (при выпадении 130000м³ осадков).

1.4. Расчет удельных и суммарных затрат на утилизацию снега

Таблица2. Суммарные затраты на объем 100 000 м³(месячный бюджет на уборку снега)

Способ утилизации	Удельная стоимость, руб./м ³	Суммарные затраты на объем 100 000 м ³ , в мил. руб.
Плавление на ГВС	35-40	3,7
Плавление на ВЭР	8-10	0,9
Плавление на Газу	15-20	1,8
Плавление на ДТ	100-120	11,0
Плавление на эл-ве	40-150	7,5
Вывоз снега	300-350	32,5

Из приведенных расчетов видна эффективность плавления по сравнению с вывозом и складированием на полигоны.

Выполнив расчет оптимальной сети стационарных ССП для Ярославля (Приложение3) установили, что оптимальным составом сети стационарных снегоплавильных пунктов для г. Ярославля является строительство трех ССП производительностью 100 м³/час каждый. Данная конфигурация

обеспечивает надежность, логистическую эффективность и запас производительности для пиковых нагрузок.

На основе анализа промышленной карты Ярославля (Приложениеб): выделены три перспективных предприятия, расположенных в разных районах города и обладающих значительным потенциалом по рекуперативному теплу их расположение приведено на карте города

Таблица3. Сводный анализ предприятий.

Параметр	Ярославская ТЭЦ-1	Ярославский НПЗ	Ярославские очистные сооружения
Оценочный тепловой поток	Высокий (десятки МВт)	Очень высокий (возможно, сотни МВт)	Очень высокий (расчетный, десятки МВт)
Температура теплоносителя	Охлаждающая вода: 25-35°C	Технологические потоки: 40-80°C	+15...+20°C (круглогодично)
Состав теплоносителя	Очищенная вода, возможны примеси ингибиторов коррозии.	Требуется анализ. Возможны замкнутые контуры с чистой водой или риск загрязнения нефтепродуктами.	Очищенные стоки (биологически очищенная вода, возможны взвешенные частицы)
Стабильность источника	Постоянная, 24/7	Постоянная, возможны плановые остановки	Абсолютно постоянная, 24/7/365
Ключевые риски	Сезонное изменение режима работы ТЭЦ.	Необходимость сложной системы теплообмена для изоляции технологических сред.	Низкая температура требует высокоэффективных тепловых насосов. Риск загрязнения теплообменников.
Месторасположение (районы близлежащие к объекту)	Кировский, частично Ленинский, Заволжский и Дзержинский районы	Красноперекопский Фрунзенский районы,.	Часть Фрунзенского района.
Расчетное среднее «плечо» вывоза	3-8 км	5-8 км	3-5 км

Так же целесообразным является использование талой воды не только на нужды плавления, но и приготовления растворов антигололедных реагентов (АГР). Ресурса талой воды более чем достаточно для полного покрытия нужд по приготовлению антигололедных реагентов на весь зимний сезон (расчет ресурса Приложение5).

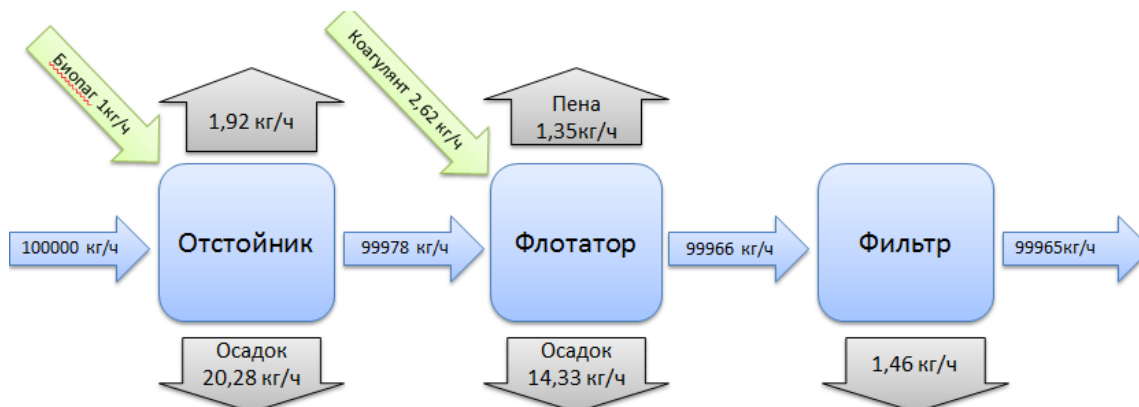
Так же. Вода после плавления может использоваться для плавления последующих партий снега и после ее очистки для приготовления растворов антигололедных реагентов.

Технологическая схема стационарного снегоплавильного комплекса (СПП) с рекуперацией воды.



Стационарный снегоплавильный комплекс реализует замкнутую схему рекуперации воды. После механической очистки, снег с дорог плавится, а полученная талая вода очищается и используется для приготовления антигололедных реагентов и для других технических нужд.

Технологическая схема флотационно-фильтрационной установки ССП.



Подробный расчет материального баланса очистки талой воды приведен в Приложении 4.

Таблица 4. Расчет материального баланса системы очистки талых вод.

компоненты	приход		Продукты очистки		Очищ. вода	
	Кг/ч	Масс%	Кг/ч	Масс%	Кг/ч	Масс%
вода	99964,5	99,965	0	0,000	99964,5	100,000
ВВ	30	0,030	29,94	84,648	0,06	0,000
НП	4,5	0,005	4,49		0,01	
Реагенты	1		0,94	2,658	0,06	0,000
итого	100000	100,000	35,37	100,000	99964,63	100,000

Сводная эффективность очистки сводная

- По ВВ: $(30 - 0,06) / 30 \times 100\% = 99,8\%$
- По НП: $(4,5 - 0,01) / 4,5 \times 100\% = 99,8\%$

На основании проведенного расчета материального баланса подтверждена высокая эффективность технологии очистки талых вод на снегоплавильном пункте. Показатели очистки по взвешенным веществам и нефтепродуктам превышают 99,7%, что позволяет обеспечить возврат очищенной воды в технический цикл для приготовления антигололедных реагентов. Внедрение системы рекуперации воды на основе данной технологии позволяет реализовать принципы ресурсосбережения и минимизировать антропогенную нагрузку на водные объекты города

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования была разработана система утилизации снега для города Ярославля. Проанализированы объемы снега, подлежащего вывозу, и определены оптимальные места размещения снегоплавильных пунктов на базе промышленных предприятий, обладающих вторичными энергоресурсами.

Оценка доступных источников тепла показала, что такие предприятия, как Ярославская ТЭЦ-1, Ярославский НПЗ и очистные сооружения, обладают значительным и стабильным тепловым потенциалом для эффективного плавления снега. Разработанная модель переработки снежных масс, включающая замкнутую рекуперацию воды для приготовления антигололедных реагентов, доказала свою высокую экологическую и экономическую эффективность по сравнению с традиционным вывозом снега на полигоны.

Таким образом, реализация сети стационарных снегоплавильных пунктов позволит Ярославлю перейти к современной, ресурсосберегающей и экологически безопасной системе утилизации снега.

Перспективы дальнейшего развития проекта видятся в детальной проработке технических характеристик для пилотных снегоплавильных пунктов, на основе данных оперативного мониторинга и химического анализа снежных масс.

А в перспективе, возможно, и проведении переговоров с предприятиями-донорами тепла, а также в разработке нормативно-правовой базы, стимулирующей использование вторичного энерго-ресурса в городском хозяйстве.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Об охране окружающей среды [Текст]: федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 30.12.2021) // Собрание законодательства РФ. — 2002. — № 2. — Ст. 133.
2. Об утверждении муниципальной программы «Развитие дорожно-транспортной инфраструктуры и осуществление дорожной деятельности в отношении автомобильных дорог местного значения в границах города Ярославля» на 2023–2028 годы [Текст]: постановление мэрии города Ярославля от 9 января 2023 г. № 2 // Официальный сайт органов городского самоуправления города Ярославля. – URL: <https://www.city-yar.ru/home/> (дата обращения: 15.10.2024).
3. ГОСТ Р 50597-2017. Автомобильные дороги и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения [Текст] : утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 28.07.2017 № 785-ст. — Введ. 2018-06-01. — М. : Стандартинформ, 2018. — IV, 30 с
4. .Войтковский К.Ф. Механические свойства снега Москва: Издательство Наука, 1977. — 126 с/
5. [Электронный ресурс]. Каталог продукции // GRNH. URL: <https://grnh.ru/catalog> (дата обращения: 03.11.2025)
6. Фрог Б.Н.. Водоподготовка : учебник для вузов / Фрог Б.Н., Первов А.Г. — Москва : Издательство АСВ, 2015. — 512 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-93093-974-3
7. Сазонова О.В. Сравнительная характеристика антропогенного загрязнения снегового покрова территории крупного промышленного центра под влиянием различных источников загрязнения / Сазонова О.В. Рязанова, Д. С. Тупикова, Т. В. Судакова, Н. М. Торопова, Л. Н. Вистяк /«Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО». — 2019. — № 3(312). — С. 36 - 42

Приложение 1

Расчёт площади дорог Ярославля для целей уборки снега

Исходные данные:

По информации на март 2025 года, общая протяжённость дорог в Ярославле — 762,2 км км – 762130метров

Расчёт площади (S):

Формула: $S = \text{Протяжённость} \times \text{Средняя ширина}$

Ключевой вопрос — определить среднюю ширину проезжей части. Улично-дорожная сеть города включает в себя:

Широкие магистрали (4-6 полос, ширина 15-20 м и более).

Улицы с двусторонним движением (2-4 полосы, ширина 10-14 м).

Узкие улицы и внутриквартальные проезды (1-2 полосы, ширина 5-7 м).

Учитывая этот микс, для расчёта площади под уборку примем средневзвешенную ширину.

Консервативная оценка (нижняя граница): Средняя ширина 7 метров.

$$S = 762\,200 \text{ м} \times 7 \text{ м} = 5\,335\,400 \text{ м}^2 \approx 534 \text{ гектар}$$

Наиболее вероятная оценка: Средняя ширина 9 метров. Эта цифра часто используется в градостроительных и дорожных расчетах, так как она хорошо отражает среднее арифметическое между широкими магистралями и узкими улицами:

$$S = 762\,200 \text{ м} \times 9 \text{ м} = 6\,859\,800 \text{ м}^2 \approx 686 \text{ гектар}$$

Оценка сверху (верхняя граница): Средняя ширина 11 метров.

$$S = 762\,200 \text{ м} \times 11 \text{ м} = 8\,384\,200 \text{ м}^2 \approx 838 \text{ гектар}$$

Наиболее обоснованной и вероятной представляется оценка в ~680 гектар

Расчет объемно-массовых характеристик снега для территории 680 га

Исходные данные:

- Площадь убираемой территории (S): 680 га
- Средняя толщина снежного покрова за зиму ($H_{\text{ср}}$): 0,35 - 0,5 м (35-50 см)
- Пиковая толщина снежного покрова ($H_{\text{пик}}$): 0,6 - 0,8 м (60-80 см)
- Коэффициент уплотнения снега ($K_{\text{упл}}$): 0,75[4]
- Расчетная плотность для городского снега: 300 кг/м³ (0,3 г/см³)
- Средняя высота снега при снегопаде (h): 0,1 м (10 см)

Расчет общего объема снега, подлежащего утилизации:

Формула: $V = S \times H \times K_{упл}$

2.1. Средний объем за зиму:

$$V_{ср_min} = 680 \text{ га} \times 10\,000 \text{ м}^2/\text{га} \times 0,35 \text{ м} \times 0,75 = 1\,785\,000 \text{ м}^3$$

$$V_{ср_max} = 680 \text{ га} \times 10\,000 \text{ м}^2/\text{га} \times 0,5 \text{ м} \times 0,75 = 2\,550\,000 \text{ м}^3$$

Средний рабочий объем снега за зиму: ~1,79 - 2,55 млн. м³

2.2. Пиковый объем (в феврале):

$$V_{пик_min} = 680 \text{ га} \times 10\,000 \text{ м}^2/\text{га} \times 0,6 \text{ м} \times 0,75 = 3\,060\,000 \text{ м}^3$$

$$V_{пик_max} = 680 \text{ га} \times 10\,000 \text{ м}^2/\text{га} \times 0,8 \text{ м} \times 0,75 = 4\,080\,000 \text{ м}^3$$

Пиковый объем снега для утилизации: ~3,06 - 4,08 млн. м³

2.3. За объемный снегопад:

$$V_{раз} = 6\,800\,000 \text{ м}^2 \times 0,1 \text{ м} \times 0,75 = 510\,000 \text{ м}^3$$

Пиковый объем снега для утилизации: ~0,5 млн. м³

Расчет массы снега (для расчетной плотности 300 кг/м³):

Формула: $M = V \times \rho$

3.1. Средняя масса за зиму:

$$M_{ср_min} = 1\,785\,000 \text{ м}^3 \times 300 \text{ кг/м}^3 = 535\,500\,000 \text{ кг} (\approx 535,5 \text{ тыс. тонн})$$

$$M_{ср_max} = 2\,550\,000 \text{ м}^3 \times 300 \text{ кг/м}^3 = 765\,000\,000 \text{ кг} (\approx 765 \text{ тыс. тонн})$$

3.2. Пиковая масса (в феврале):

$$M_{пик_min} = 3\,060\,000 \text{ м}^3 \times 300 \text{ кг/м}^3 = 918\,000\,000 \text{ кг} (\approx 918 \text{ тыс. тонн})$$

$$M_{пик_max} = 4\,080\,000 \text{ м}^3 \times 300 \text{ кг/м}^3 = 1\,224\,000\,000 \text{ кг} (\approx 1\,224 \text{ тыс. тонн})$$

3.3. Разовая масса (за объемный снегопад):

$$M_{раз} = 510\,000 \text{ м}^3 \times 300 \text{ кг/м}^3 = 151\,000\,000 \text{ кг} (\approx 151 \text{ тыс. тонн})$$

Расчет общего запаса воды в снеге:

Формула: $Z = 100 \times d \times h \times S$

4.1. Средний запас воды за зиму (при $h = 35\text{-}50 \text{ см}$):

$$Z_{ср_min} = 100 \times 0,3 \text{ г/см}^3 \times 35 \text{ см} \times 680 \text{ га} = 714\,000 \text{ м}^3$$

$$Z_{ср_max} = 100 \times 0,3 \text{ г/см}^3 \times 50 \text{ см} \times 680 \text{ га} = 1\,020\,000 \text{ м}^3$$

4.2. Пиковый запас воды (при $h = 60\text{-}80 \text{ см}$):

$$Z_{пик_min} = 100 \times 0,3 \text{ г/см}^3 \times 60 \text{ см} \times 680 \text{ га} = 1\,224\,000 \text{ м}^3$$

$$Z_{пик_max} = 100 \times 0,3 \text{ г/см}^3 \times 80 \text{ см} \times 680 \text{ га} = 1\,632\,000 \text{ м}^3$$

4.2. Разовый запас воды (при $h = 10 \text{ см}$):

$$Z_{ра} = 100 \times 0,3 \text{ г/см}^3 \times 10 \text{ см} \times 680 \text{ га} = 204\,000 \text{ м}^3$$

Приложение 2

Расчет удельных и суммарных затрат на утилизацию снега

Для проведения сравнительного анализа экономической эффективности различных методов утилизации выполнен расчет затрат на плановый объем в 100 000 м³ снежной массы. Расчет основан на приведенных удельных стоимостях эксплуатации для каждого технологического процесса. [5]

Исходные данные:

– Объем снега к утилизации (V) = 100 000 м³

Стоимость плавления 1 м³ снега:

- На ГВС (горячее водоснабжение): 35-40 руб (Средняя стоимость Гкал/час 1700,00 - 2000руб, на плавление 1 м³ снега расходуется 0,02 Гкал)
- На ДТ(дизельном топливе): 108 руб. (Средняя стоимость дизельного топлива 40,00 руб/л., на плавление 1 м³ снега требуется 2,7 литра)
- На Газу: 18 руб. (Средняя стоимость газа 6, 00 руб./м³, на плавление 1 м³ снега требуется 3 м³ газа)
- На электричестве стоимость плавления 1 м³ снега электричеством может варьироваться от 40 до 150 рублей в зависимости от источника тепла
- На вторичном энергетическом ресурсе (ВЭР) (рекуперативном тепле): ~8-10 руб. (только затраты на перекачку теплоносителя и обслуживание оборудования)
- Стоимость вывоза 1 м³ снега: 300-350 руб. (кузов одной машины вмещает в себя max 20 м³ снега, стоимость вывоза 1 машины (средняя по России) – 6000 - 7000 руб)

Формула для расчета: $\Sigma Z = V * C$,

где: ΣZ — суммарные затраты на утилизацию всего объема, руб.; V — объем снега, м³; C — удельная стоимость утилизации, руб./м³.

Таблица 3. Затраты на утилизацию 100 000 м снега.

Способ утилизации	Удельная стоимость, руб./м ³	Суммарные затраты на объем 100 000 м ³ , руб.
Плавление на ГВС	34-40	3 700 000
Плавление на ВЭР	8-10	900 000
Плавление на Газу	15-20	1 800 000
Плавление на ДТ	100-120	11 000 000
Плавление на эл-ве	40-150	7 500 000
Вывоз снега	300-350	32 500 000

Приложение 3

Расчет оптимальной сети стационарных снегоплавильных пунктов (ССП) для Ярославля

Исходные данные и допущения:

- Объем снега: 97 000 м³ вывезено за январь.
- Норма выпадения осадков: 130 000 м³. Разница (33 000 м³) скорее всего осталась на внутриквартальных территориях, была вывезена позднее или учтена с погрешностью. Мы будем ориентироваться на цифру 97 000 м³.
- Рабочий период: Январь = 31 день. Однако снег вывозится не равномерно, а преимущественно во время и после снегопадов. Пиковая нагрузка приходится на 10-15 дней в месяц. Для расчета производительности возьмем 20 рабочих дней (это ключевое допущение, отражающее пиковую нагрузку).
- Режим работы ССП: Снегоплавильные пункты работают в 2 смены, круглосуточно, в пиковые дни. В среднем, эффективный рабочий день примем за 20 часов (с учетом перерывов на техобслуживание, плавный пуск и остановку).
- Средняя производительность ССП: Современные стационарные ССП имеют разную производительность. Мы рассмотрим варианты с пунктами производительностью 100 м³/час, как наиболее типовые.

Для обеспечения надежности, оптимизации логистики и создания резерва производительности принято решение о создании сети из трех стационарных ССП производительностью 100 м³/час каждый.

Суммарная производительность сети: $3 \times 100 \text{ м}^3/\text{час} = 300 \text{ м}^3/\text{час}$

Обоснование выбранной конфигурации:

Оптимизация логистики: Размещение ССП в трех основных районах города (Ленинский, Красноперекоский, Фрунзенский) позволит сократить среднее плечо вывоза снега с 10-18 км до 3-8 км, что снизит транспортные расходы на 30-40%.

Надежность системы: При выходе из строя одного ССП система сохранит 200 м³/час производительности (67% от общей), что позволит избежать полного прекращения утилизации снега.

Запас производительности: Суммарная производительность сети (300 м³/час) превышает расчетную потребность (242,5 м³/час) на 23,7%, что создает резерв для работы в периоды продолжительных снегопадов.

Гибкость эксплуатации: Возможность включения только необходимого количества ССП в периоды снижения снеговой нагрузки, что позволяет оптимизировать энергопотребление и эксплуатационные расходы.

Масштабируемость: При увеличении объемов утилизации (расширение городской территории или рост интенсивности снегопадов) возможно добавление четвертого ССП аналогичной производительности.

Распределение нагрузки между ССП:

ССП-1 (Ленинский район): 100 м³/час

ССП-2 (Краснопереконский район): 100 м³/час

ССП-3 (Фрунзенский район): 100 м³/час

Эффективность реализации проекта:

Создание сети из трех ССП производительностью 100 м³/час каждый является оптимальным решением для г. Ярославля, обеспечивающим:

Стабильную утилизацию снега в течение всего зимнего периода

Снижение нагрузки на дорожную сеть и транспортные расходы

Повышение надежности системы зимней уборки города

Наличие резерва производительности для работы в экстремальных условиях

Материальный баланс очистки талых вод для одного комплекса

Рассчитаем материальный баланс работы стационарного снегоплавильного пункта (ССП) производительностью 100 м³/час [6-7]

Исходные данные:

- Производительность ССП: 100 м³ снега/час
- Плотность снега: 300 кг/м³ (средняя для слежавшегося городского снега)
- Расход стоков после плавления: принимаем равным расходу расплавленного снега 100 000 кг/ч
- Концентрации на входе:
- Взвешенные вещества (ВВ): 300 мг/дм³
- Нефтепродукты (НП): 45 мг/дм³
- Антимикробный реагент (Биопак, концентрация 10%) 10 г/м³
- Доза коагулянта (сульфат алюминия Al₂(SO₄)₃) 0.15 г/л, концентрация раствора 17.5%:

Стадия: Отстойник

Приход в отстойник (кг/ч): 100 000,00 кг/ч продукта плавки снега:

- Масса воды: 99964,5 кг/ч
- Масса ВВ: $300 \times 10^{-6} \times 100\,000$ кг/ч = 30 кг/ч
- Масса НП: $45 \times 10^{-6} \times 100\,000$ кг/ч = 4,5 кг/ч
- Реагент (антимикробный): $10 \times 10^{-6} \times 100\,000,00$ кг = 1 кг

Суммарный приход: 99964,5 + 30,0 + 4,5 + 1, = 100 000 кг/ч

Расход из отстойника:

Осадок (шлам):

1. Масса ВВ в осадке: $30 \times 0,6 = 18$ кг/ч ($\eta = 60\%$)
2. Масса реагента в осадке: 1 кг/ч
3. Масса НП в осадке: 1,08 кг/ч
4. Масса воды в шламе: $18 \times 0,9 = 16,2$ кг/ч

Итого осадок: $18 + 1 + 1,08 = 20,28$ кг/ч

Масса нефтепродуктов, уходящих сверху отстойника 1,92 кг/ч

Выходящая вода после отстойника:

1. Масса ВВ: 11,8 кг/ч
2. Масса НП: 1,5 кг/ч
3. Масса воды: 99964,5 кг/ч

Итого вода: $11,8 + 1,5 + 99964,5 = 99977,8$ кг/ч

Суммарный расход: $20,28 + 1,92 + 99977,8 = 100000$ кг/ч

Таблица 5. Материальный баланс отстойника

компоненты	приход		Улов. нефтепрод	Осадок	Продукты очистки		Очищ. вода	
	Кг/ч	Масс.%	Кг/ч	Кг/ч	Кг/ч	Масс%	Кг/ч	Масс%
вода	99964,5	99,965				0,000	99964,5	99,987
ВВ	30	0,030		18,2	18,2	81,982	11,8	0,012
НП	4,5	0,005	1,92	1,08	3	13,514	1,5	0,002
Биопаг	1	0,001		1	1	4,505	0	0,000
итого	100000	100,000	1,92	20,28	22,2	100,000	99977,8	100,000

Эффективность очистки отстойника

– По ВВ: $(30,0 - 11,8) / 30,0 \times 100\% = 60,0\%$

– По НП: $(4,5 - 3) / 4,5 \times 100\% = 66,6\%$

Стадия: Флотатор

Приход во флотатор (кг):

1. Масса воды: 99964,5кг
2. Масса ВВ: 11,8 кг
3. Масса НП: 1,5 кг
4. Коагулянт $(0,15 \times 99949,3 \times 10^{-3}) / 0,175 = 2,62$ кг

Суммарный приход: $11,8 + 1,5 + 2,62 + 99964,5$ кг = 99980,42 кг/ч

Расход из флотатора:

Пенный продукт/осадок :

1. Масса ВВ в осадке: 10,62 кг/ч
2. Масса НП в пене: 1,35 кг/ч
3. Масса коагулянта в осадке: 2,36 кг/ч
4. Масса воды в шламе: 9,05 кг/ч

Итого осадок/пена: $10,62 + 2,36 + 1,35 = 14,33$ кг/ч

Очищенная вода:

1. Масса ВВ: 1,18 кг/ч
2. Масса НП: 0,15 кг/ч
3. Масса коагулянта: 0,26 кг/ч
4. Масса воды: 99964,5кг/ч

Итого очищенная вода: $1,18 + 0,15 + 0,26 + 99964,5 = 99966,09$ кг/ч

Суммарный расход: $14,33 + 99966,09 = 99980,42$ кг/ч

Таблица 6. Материальный баланс флотатора

компоненты	приход		пена	осадок	Продукты очистки		Очищенная вода	
	Кг/ч	Масс%	Кг/ч	Кг/ч	Кг/ч	Масс%	Кг/ч	Масс%
вода	99964,5	99,984				0,000	99964,5	99,998
ВВ	11,8	0.012		10,62	10,62	74,110	1,18	0,001
НП	1,5	0.002	1,35		1,35		0,15	
коагулянт	2,62	0.003		2,36	2,36	16,469	0,26	
итого	99980,42	100,000	1,35	12,98	14,33	100,000	99966,09	100,000

Эффективность очистки во флотаторе:

- По ВВ: $(11,8 - 1,18) / 11,8 \times 100\% = 90,0\%$
- По НП: $(1,5 - 0,15) / 1,5 \times 100\% = 89,9\%$

Стадия: Сорбционный фильтр

- Концентрация ВВ. после очистки- 0,6мг/дм³
- Концентрация по НП после очистки -0,1 мг/дм³

Таблица7. Материальный баланс флотатора

компоненты	приход		Продукты очистки		Очищ. вода	
	Кг/ч	Масс%	Кг/ч	Масс%	Кг/ч	Масс%
вода	99964,5	99,998		0,000	99964,5	100,000
ВВ	1,18	0,001	1,12	76,712	0,06	0,000
НП	0,15		0,14		0,01	
коагулянт	0,26		0,2	13,699	0,06	0,000
итого	99966,09	100,000	1,46	100,000	99964,63	100,000

- Эффективность очистки сорбционного фильтра
- По ВВ: $(1,44 - 0,1) / 1,44 \times 100\% = 95\%$
- По НП: $(0,2 - 0,032) / 0,2 \times 100\% = 93,3\%$

СВОДНЫЙ МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС (кг/ч)

Таблица4. Сводный материальный баланс системы очистки

компоненты	приход		Продукты очистки		Очищ. вода	
	Кг/ч	Масс%	Кг/ч	Масс%	Кг/ч	Масс%
вода	99964,5	99,965	0	0,000	99964,5	100,000
ВВ	30	0,030	29,94	84,648	0,06	0,000
НП	4,5	0,005	4,49		0,01	
Реагенты	1		0,94	2,658	0,06	0,000
итого	100000	100,000	35,37	100,000	99964,63	100,000

Сводная эффективность очистки сводная

- По ВВ: $(30 - 0,06) / 30 \times 100\% = 99,8\%$
- По НП: $(4,5 - 0,01) / 4,5 \times 100\% = 99,8\%$

Расчет потребности воды для приготовления антигололедного реагента

Концентрация рабочего раствора АГР: Для эффективного предотвращения обледенения и борьбы с ним используется не чистый реагент, а его водный раствор. Типичная концентрация рабочего раствора для современных жидких АГР (аналогичных "Бионорду") составляет 15-25%. Для расчета примем значение **20%**. Это означает, что в 1 тонне раствора содержится 200 кг сухого реагента и 800 кг воды.

Норма расхода рабочего раствора АГР: Средняя норма расхода жидкого АГР при обработке дорог составляет **30-50 г/м²** (в пересчете на сухое вещество). Возьмем для расчета **40 г/м²**.

Обрабатываемая площадь дорог: По данным из Приложения 1, площадь дорог и тротуаров Ярославля, требующих обработки, составляет ориентировочно 6 800 000 м².

Шаг 1. Расчет общей потребности в антигололедном реагенте (в сухом веществе)

- Условимся, что обработка проводится в среднем 50 раз за зимний сезон (после каждого снегопада или гололеда).
- Общая площадь обработок за сезон: $6\,800\,000\text{ м}^2 \times 50\text{ обработок} = 340\,000\,000\text{ м}^2$
- Общая масса сухого АГР, необходимая на сезон:
- $340\,000\,000\text{ м}^2 \times 0.040\text{ кг/м}^2 = 13\,600\,000\text{ кг}$ (или 13 600 тонн).

Шаг 2. Расчет объема технической воды для приготовления рабочего раствора АГР

- Общая масса готового раствора АГР (20%-й концентрации): $13\,600\,000\text{ кг} / 0.20 = 68\,000\,000\text{ кг}$
- Объем готового раствора АГР (плотность $\approx 1000\text{ кг/м}^3$): $68\,000\,000\text{ кг} / 1000\text{ кг/м}^3 = 68\,000\text{ м}^3$
- Объем технической воды, требуемый для разведения АГР:
Объем воды = Масса раствора $\times (1 - 0.20) = 68\,000\text{ м}^3 \times 0.80 = 54\,400\text{ м}^3$.

Ресурса талой воды, образующейся после плавления снега с улиц Ярославля, **более чем достаточно** для полного обеспечения потребности в технической воде для приготовления антигололедных реагентов. Оставшаяся очищенная вода может быть использованы для других технических нужд предприятия (например, мойка оборудования, подпитка систем охлаждения).

Приложение 6

Карта-схема расположения СПП на промышленных предприятиях зон
их обслуживания

