

# ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ПОВЕРХНОСТИ ДОРОГ И ТРОТУАРОВ

В. А. Пенчук, д.т.н., профессор; А. К. Кралин, к.т.н., доцент

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**Аннотация.** В работе рассматриваются технологии и средства для приготовления противогололедных комбинированных смесей и их распределение по поверхности дорог общего пользования и пешеходных зон. Приводится сравнительный анализ процессов как составных частей представленных технологий, позволяющий производить подбор комплектов машин, участвующих в технологических процессах приготовления и распределения противогололедных материалов (ПГМ). Рассмотрены критерии оптимизации состава и структуры комплектов машин для предварительного приготовления и распределения противогололедных смесей и эффективность технологии распределения смесей с использованием транспортных средств с вращающимся конусообразным кузовом. Представлена примерная реализация машины с вращающимся конусообразным кузовом, дооборудованная дополнительными узлами, применяемыми на машинах для зимнего содержания дорог. Выполнен предварительный расчет для определения энергетических затрат, связанных с процессами распределения противогололедного материала по поверхности дороги по рассматриваемым технологиям.

**Ключевые слова:** технология, распределение, противогололедный материал, компоненты противогололедной смеси, дорога общего пользования, распределитель дисковый, скребковый транспортер, смесительный барабан, накопительный бункер, конусообразный кузов, критерий оптимизации, энергетические затраты.



**Пенчук**  
Валентин Алексеевич



**Кралин**  
Андрей Константинович

Основными параметрами любой технологии являются производительность, энергоемкость и металлоемкость, определение которых являются определяющими на стадии разработки машин и механизмов для ее реализации.

В данной работе рассматриваются и сравниваются две технологии приготовления и распределения противогололедной смеси на поверхности дорог общего пользования, пешеходных дорожек и тротуаров.

Первая традиционная схема представлена на рис. 1, где первоначально исходный материал доставляется на склады компонентов смеси, затем он поступает в смесительный барабан для тщательного перемешивания, далее через накопительный бункер. Приготовленная противогололедная смесь поступает в специальную машину – распределитель материалов. Конструкция распределителя представляет собой бункер длиной равной длине шасси автомобиля со скошенными боковыми стенками. В нижней части бункера располагается пластинчатый или скребковый транспортер [1, 2]. Конструктивная схема типового распределителя материалов показана на рис. 2.

Конструкция рассмотренного распределителя выпускается многими производителями стран СНГ, техническая характеристика некоторых из них представлена в таблице 1 [3].

По второй технологической схеме предполагается, что материалы накапливаются на складах аналогично первой схеме, а затем через накопительный бункер без перемешивания направляется в барабан, который является одновременно емкостью для перемешивания, хранения и выгрузки перемешанных компонентов противогололедной смеси на распределяющее устройство. На рисунке 3 представлена новая технологическая схема приготовления противогололедных материалов.

Визуальное сопоставление представленных технологий приготовления и распределения ПГМ по поверхностям дорог имеет общие и отличные друг от друга технологические операции, которые выполняются в определенной последовательности. Блок-схемы технологий приготовления и распределения материалов представлены на рис. 4.

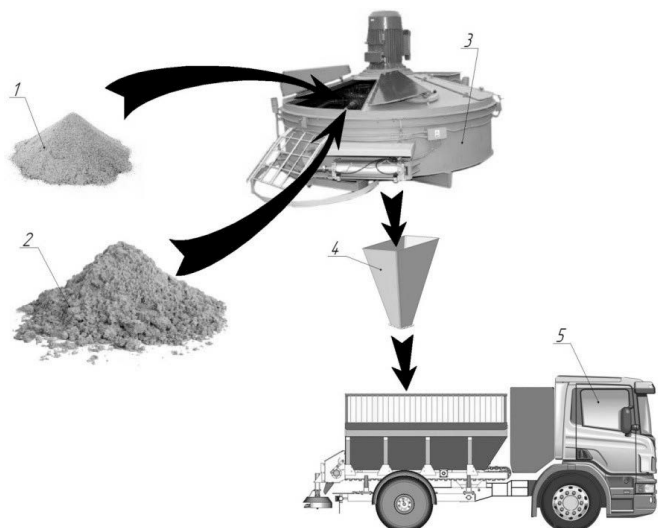


Рис. 1. Традиционная технологическая схема приготовления и загрузки противогололедных материалов:

- 1, 2 – склады компонентов противогололедного материала (песок, шлак,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  и т.п.);  
 3 – смесительный барабан; 4 – накопительный бункер;  
 5 – распределитель противогололедных материалов

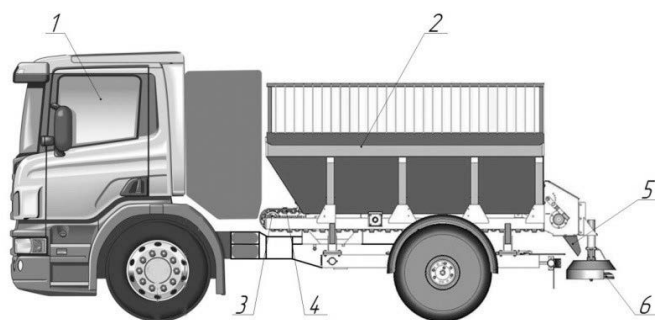


Рис. 2. Конструктивная схема типового распределителя противогололедных материалов:

- 1 – базовое шасси; 2 – бункер с решетчатым верхом;  
 3 – привод пластинчатого конвейера;  
 4 – пластинчатый конвейер; 5 – направляющий лоток;  
 6 – распределитель дисковый

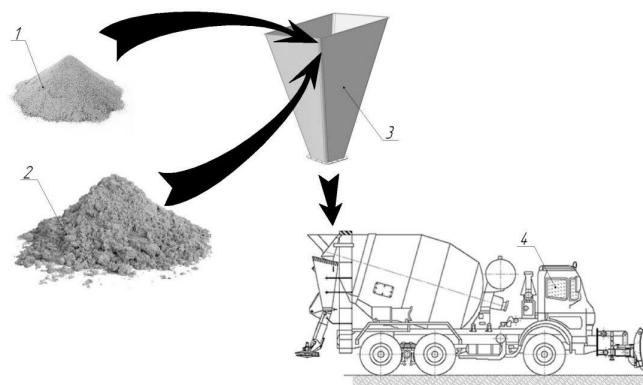


Рис. 3. Новая технологическая схема приготовления противогололедных материалов:

- 1, 2 – склады компонентов противогололедного материала (песок, шлак,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$  и т.п.);  
 3 – накопительный бункер; 4 – распределитель противогололедных материалов

Как видно из сказанного выше, для реализации достаточно сложных технологических процессов требуется применение не одной, а целого ряда машин и оборудования, взаимодействующих и взаимосвязанных друг с другом.

Все это требует системного подхода к проблемам проектирования, производства и эксплуатации машин для зимнего содержания дорог с учетом возможности их эффективного использования в другие периоды года.

Основные схемы комплексов машин, обеспечивающих зимнее содержание дорог, могут быть трех видов: последовательными, параллельными и комбинированными. Можно сделать допущение, что во всех схемах процессы доставки ( $D_1$  и  $D_2$ ) и хранения ( $X_1$  и  $X_2$ ) одинаковы как по стоимости оборудования, так и по трудозатратам и энергоэффективности. Различия начинаются в процессах подготовки противогололедных смесей. Для традиционной технологии характерно наличие одного узла перемешивания компонентов противогололедных смесей, например, песчано-соляной смеси (ПСС), который обслуживает  $n$ -число машин для распределения противогололедных материалов.

Таблица 1.

Техническая характеристика распределителей противогололедных материалов

| Марка  | МДК3-10  | МДК3-11  | МДК3-20  | МДК3-30  |
|--|----------|----------|----------|----------|
| Базовое шасси                                | МАЗ      | МАЗ      | КАМАЗ    | КрАЗ     |
| Вместимость кузова, м <sup>3</sup>           | 6,0      | 9,0      | 6,8      | 7,2      |
| Ширина рабочей зоны, м                       |          |          |          |          |
| – по посыпке                                 | 3-12     | 3-12     | 3-12     | 3-12     |
| – по снегоочистке                            | 2,7-3,0  | 2,7-3,0  | 2,7-3,0  | 2,7-3,0  |
| Средняя плотность посыпки, кг/м <sup>2</sup> | 0,05-0,4 | 0,05-0,4 | 0,05-0,4 | 0,05-0,4 |
| Вместимость баков для соляного раствора, л   | 2400     | 3200     | 2400     | 3200     |
| Длина, мм                                    | 9800     | 11500    | 12200    | 8900     |
| Ширина, мм                                   | 2900     | 2900     | 3500     | 2900     |
| Высота, мм                                   | 3200     | 3200     | 3200     | 3400     |

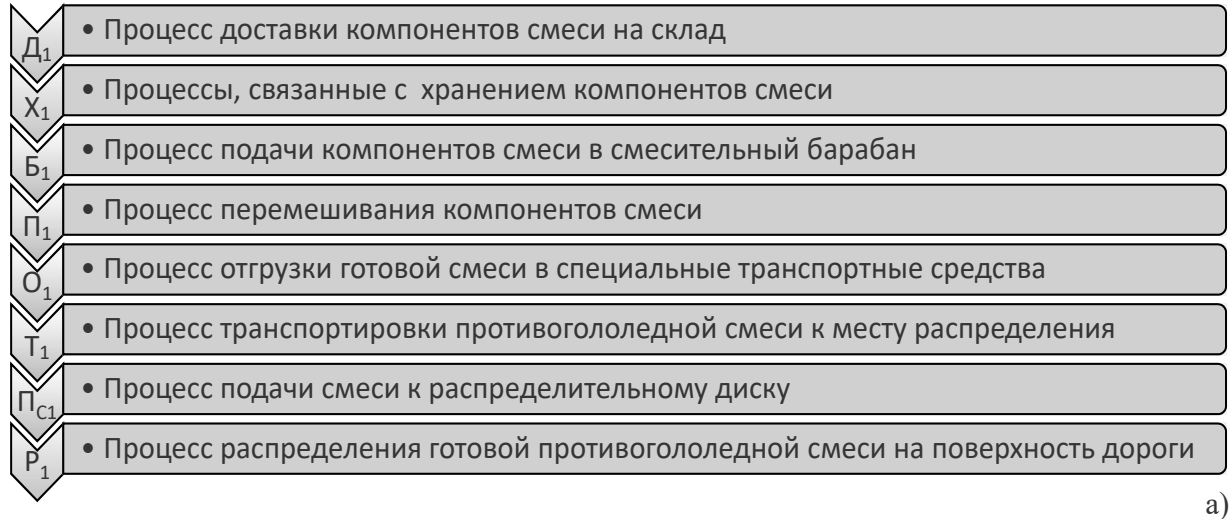


Рис. 4. Блок-схемы сопоставляемых технологий приготовления и распределения ПГМ:  
а – традиционная технология, б – новая технология

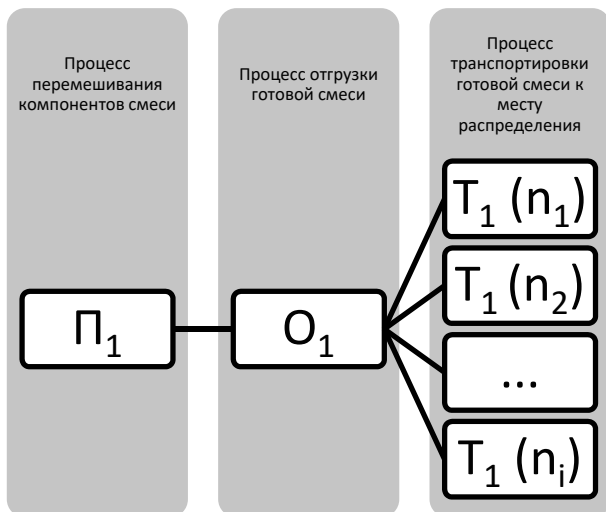


Рис. 5. Перемешивание компонентов смеси и подача готового материала по n-количеству распределителей противогололедных материалов по традиционной технологии

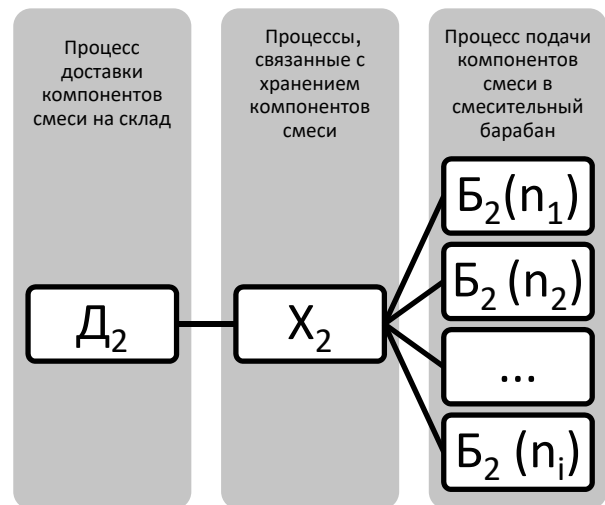


Рис. 6. Перемешивание компонентов смеси и их транспортировка по n-количеству распределителей противогололедных материалов по новой технологии

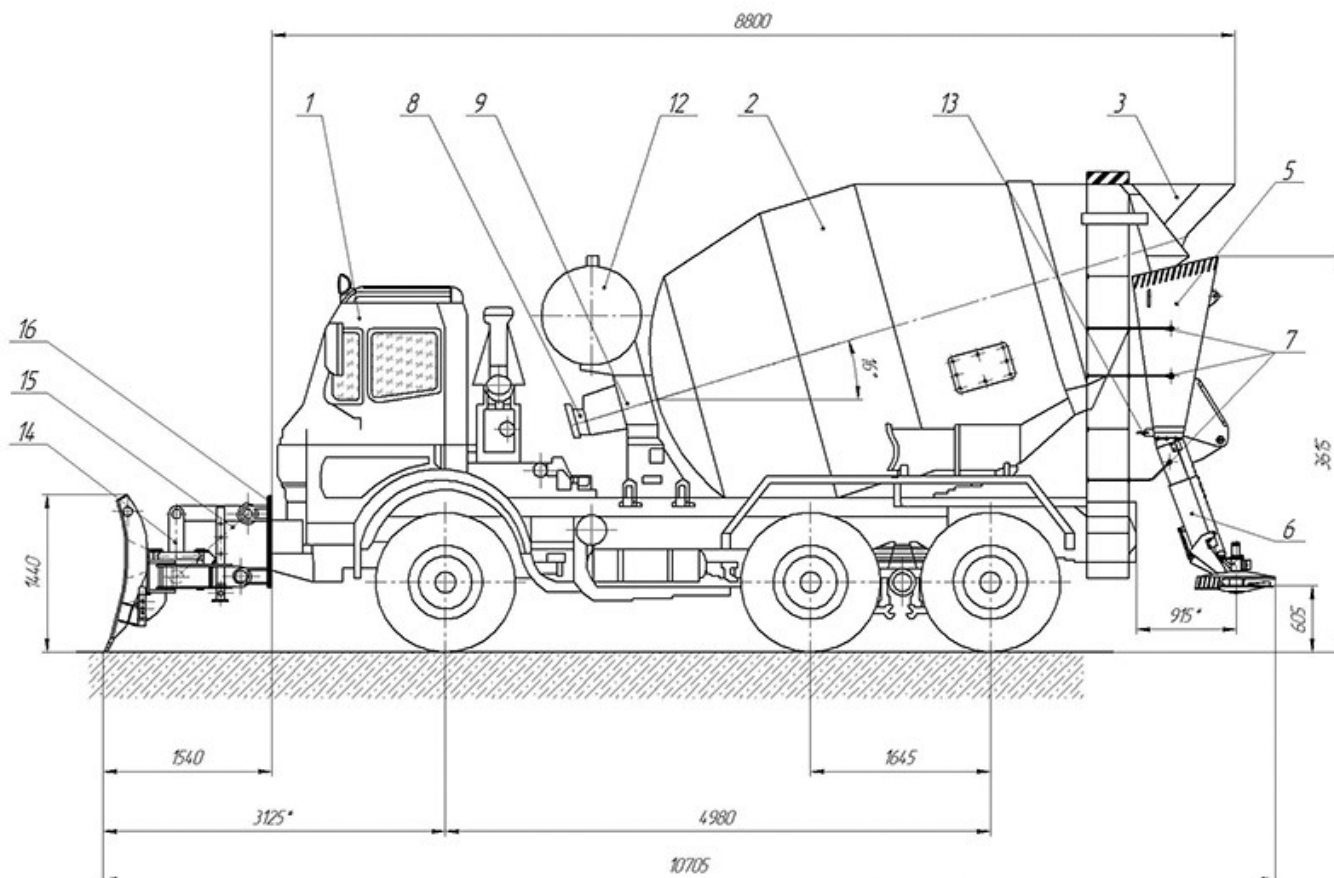


Рис. 7. Примерная реализация дооборудованного автобетоносмесителя:

1 – базовая машина; 2 – смесительная установка; 3 – устройство загрузочное; 4 – плита для дополнительного оборудования; 5 – снегоочиститель; 6 – бункер приемный; 7 – распределитель противогололедных материалов

В качестве критерия оптимизации состава и структуры комплектов машин для предварительного приготовления противогололедных смесей чаще всего используется критерий общих приведенных затрат [4]:

$$C_{пр.общ} = C_{пр}^B + C_{пр}^П + C_{пр}^P \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $C_{пр}^B$  - приведенные затраты на процессы подачи компонентов смеси в смесительные барабаны;  $C_{пр}^П$  - приведенные затраты на процессы перемешивания компонентов противогололедной смеси;  $C_{пр}^P$  - приведенные затраты на процессы распределения противогололедных материалов на поверхности дороги.

Данный критерий наиболее целесообразно применять в тех случаях, когда известны объемы и виды работ по зимнему содержанию дорог.

Для конкретного выбора оборудования подачи, перемешивания и загрузки готовой противогололедной смеси в бункеры (емкости) машин для их распределения на поверхности дороги, когда необходимо предусмотреть дополнительные капитальные вложения на указанный узел, используют критерий удельных приведенных затрат:

$$C_{уд.пр} = \frac{C_{пр}^B + C_{пр}^П + C_{пр}^P}{П_{см}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $П_{см}$  – сменная производительность узла подготовки противогололедной смеси.

Указанный анализ позволит согласовать по мощности и производительности комплект оборудования для предварительной подготовки смеси.

В новой технологии затраты на создание узла перемешивания компонентов противогололедной смеси вообще может отсутствовать, что заранее является ее плюсом. Важнее другой фактор предлагаемой технологии – это энергозатраты, связанные с конечным процессом, – распределение противогололедной смеси по поверхности дороги.

На рис. 7 изображен автобетоносмеситель, дооборудованный снегоочистителем 5, приемным бункером 6 и распределителем противогололедного материала 7.

При условии, что дополнительное оборудование будет иметь возможность оснащаться креплениями, обеспечивающими быстрый монтаж (демонтаж) оборудования с существующими элементами конструкции автобетоносмесителя, это существенно уменьшит время реагирования на прогнозируемые или уже сложившиеся погодные условия.

По традиционной технологии противогололедная смесь загружается в бункер, в нижней части которого расположен скребковый питатель, который доставляет

смесь к бункеру и через направляющий лоток к распределительному диску.

Особенностями работы таких механизмов являются трение противогололедной смеси о боковые стенки кузова и большое значение погонной нагрузки. Такая нагрузка значительно превышает значение, чем в обычных машинах непрерывного транспорта, которая достигает 1000 кг/м и более [5, 6]. В связи с этим несущие элементы конструкций таких механизмов выполняются значительно массивнее, что увеличивает значение удельной нагрузки от собственного веса, например, настила пластинчатого или скребкового транспортера со всеми тяговыми и ходовыми элементами.

При определении затрат энергии, необходимой для работы оборудования распределителя, необходимо учитывать расход энергии на привод механизмов подачи материала из кузова машины к распределяющему диску и механизмов привода самого диска. На материал,двигающийся с помощью скребков, давит слой материала, находящийся над ним в бункере, в виде сдерживающего усилия, вызываемого трением неподвижного и сдвигающегося слоев материала. При эксплуатации зачастую распределители, заполненные противогололедным материалом, остаются на дежурстве на период, в течение которого возможно смерзание материала, поэтому привод транспортера необходимо проверять на этот наиболее тяжелый режим эксплуатации.

По предлагаемой технологии компоненты противогололедной смеси в определенных пропорциях загружаются в накопительный бункер, затем в смесительный барабан транспортного средства.

При определении затрат энергии, необходимой для работы смесительного оборудования, необходимо учитывать расход энергии на перемешивание компонентов противогололедной смеси в барабане, на преодоление сопротивления трения качения барабана по роликам и трения скольжения в упорном сферическом подшипнике.

Затраты энергии, связанные с приводом распределительного диска, будем считать одинаковыми и при выполнении предварительного расчета затрат энергии и сравнении результатов не учитывать.

Для определения энергозатрат, связанных с процессами распределения противогололедного материала по поверхности дороги по рассматриваемым технологиям, был принят следующий массив исходных данных: 1. Противогололедный материал (ПГМ) – комбинированный (песчано-солевая смесь (ПСС)); 2. Плотность ПСС  $\rho_{\text{псс}}$  кг/м<sup>3</sup>; 3. Объем распределяемого ПГМ – 6,1 м<sup>3</sup>; 4. Общая длина скребкового транспортера от 2,3 до 2,8 м, принимаем  $L_{\text{ск}} = 2,65$  м; 5. Шаг расположения скребков от 0,18...0,3 м; 6. Ширину скребка и его высоту принимаем согласно техническим характеристикам распределителей ПГМ, габаритные размеры которых определяются следующими диапазонами: ширина скребка  $b = 0,5...0,65$  м; высота скребка  $h_{\text{скр}} = 0,55...0,65$  м; 7. Скорость конвейера изменяется в зависимости от требуемой производительности распределителя и

плотности посыпки ПГМ и равна  $v_k = 0,3...0,45$  м/с; 8. Значение коэффициента полезного действия передачи от двигателя к транспортеру и смесительному барабану  $\eta = 0,84...0,88$ ; 9. Масса смесительного барабана автобетоносмесителя 2800...3100 кг; 10. Частота вращения смесительного барабана автобетоносмесителя  $n_{\text{бар}} = 0...16$  об/мин.

Сила сопротивления движению цепи (Н) распределителя ПГМ, применяемого в традиционной технологии, определяется по следующей зависимости [5]:

$$W = n_{\text{скр}} b h_{\text{скр}} k_{\text{см}}, \quad (3)$$

где  $n_{\text{скр}}$  – количество скребков верхней ветви транспортера;  $b$  – ширина скребка, м;  $h_{\text{скр}}$  – высота скребка, м;  $k_{\text{см}}$  – предел прочности смерзшегося материала при сдвиге, Па.

Тогда мощность, необходимая для работы транспортера, кВт [5]:

$$N = \frac{W v_k}{1000 \eta}, \quad (4)$$

где  $v_k$  – скорость транспортера, м/с;  $\eta$  – коэффициент полезного действия передачи от двигателя к транспортеру.

В результате расчетов силы сопротивления движению цепи скребкового транспортера и мощности, необходимой для его работы, были получены следующие значения:  $W = 1,188 \times 10^5$  Н,  $N = 52/493$  кВт.

Для определения энергозатрат, необходимых для работы смесительного оборудования, определяем расход энергии на перемешивание компонентов противогололедной смеси в барабане [7, 8]. Для этого определяем момент сопротивления перемешиванию компонентов противогололедной смеси, Нхм:

$$M_{\text{II}} = G_2 y_2 \sin(\varphi), \quad (5)$$

где  $G_2$  – общий вес ПСС в барабане, Н;  $y_2$  – расстояние от оси вращения барабана до центра тяжести сегмента ПСС;  $\varphi$  – угол естественного откоса ПСС.

Тогда мощность, необходимая для перемешивания компонентов противогололедной смеси, Вт:

$$N_{\text{II}} = M_{\text{II}} \times \omega, \quad (6)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения барабана, рад/с.

Определяем усилие, с которым действует барабан с противогололедной смесью на опорные ролики при статическом положении смеси в барабане, Н:

$$T = \frac{G_1 + G_2}{2 \cos(\beta)}, \quad (7)$$

где  $G_1$  – вес всего барабана без противогололедной смеси, Н;  $\beta$  – угол установки роликов, град ( $\beta \approx 30^\circ$ ).

Сопротивление вращению барабана, обусловленное силами трения, Н:

$$W_o = 2T \left( \frac{2f}{D} + \frac{\mu d}{D} \right), \quad (8)$$

где  $f = 0,0008$  м – коэффициент трения качения бандажа барабана по роликам;  $\mu = 0,1$  – коэффициент трения скольжения в цапфах роликов;  $d$  – диаметр роликов, м;  $d$  – диаметр цапф, м.

Тогда мощность, Вт:

$$N_T = W_o R \omega, \quad (9)$$

где  $R$  – радиус смесительного барабана, м.

Определяем мощность, затраченную на преодоление трения скольжения в упорном сферическом подшипнике, Вт:

$$N_{СП} = \frac{(T_R + T_A) \mu \times d_{II}}{2\omega}, \quad (10)$$

где  $T_R$  – радиальная составляющая нагрузки на упорный сферический подшипник, Н;  $T_A$  – осевая составляющая нагрузки на упорный сферический подшипник, Н;  $d_{II}$  – диаметр упорного сферического подшипника, м.

Суммарная расчетная мощность привода вращения барабана, кВт:

$$N = \frac{N_{II} + N_T + N_{СП}}{1000\eta}. \quad (11)$$

В результате расчета получены следующие параметры:  $M_{II} = 32370$  Нхм;  $N_{II} = 33900$  Вт;  $T = 68720$  Н;  $W_o = 3628$  Н;  $N_T = 3990$  Вт;  $N_{СП} = 651, 727$  Вт;  $N = 44, 811$  кВт.

Рассматривая предложенные технологии распределения противогололедных материалов и применяемое оборудование, которые участвуют в технологических линиях, а также технику, а именно специфику ее, можно сделать следующие выводы:

1. Процессы доставки компонентов противогололедной смеси на склад ( $D_1$  и  $D_2$ ), процессы, связанные с хранением этих компонентов ( $X_1$  и  $X_2$ ), и процесс подачи компонентов в смесительный барабан ( $B_1$  и  $B_2$ ) можно считать общими.

2. Процесс подачи компонентов противогололедной смеси в смесительный барабан ( $B_1$ ) по традиционной технологии осуществляется в общий технологический узел, который готовит противогололедную смесь с дальнейшей выгрузкой смеси в накопительный бункер, а в новой технологии такой узел отсутствует, и процесс подачи компонентов смеси ( $B_2$ ) выполняется в смесительный барабан отдельно взятой машины.

3. Процесс отгрузки готовой противогололедной смеси ( $O_1$ ) является неотъемлемой частью традиционной технологии приготовления противогололедной смеси, в новой технологии такой процесс отсутствует, так как смесь готовится в смесительном барабане отдельно взятой единицы техники и выгружается сразу на распределительный диск.

4. Применение смесительного барабана в отдельно взятой единице техники в новой технологии позволяет объединить два технологических процесса, а именно процессы перемешивания компонентов смеси ( $P_2$ ) и транспортировки готовой смеси к месту распределения ( $T_2$ ). Это позволяет сократить общее число технологических процессов новой технологии, связанной с распределением противогололедных материалов.

5. Предварительный расчет энергетических затрат, связанных с распределением противогололедных материалов, показал приблизительное снижение последних на 15% в пользу новой технологии.

### Список литературы

1. Дорожные машины. Теория, конструкция и расчет [Текст] / Н.Я. Хархута, М.И. Капустин, В.П. Семенов [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1976. – 472 с.
2. Борьба с зимней скользкостью на автомобильных дорогах [Текст] / Б.В. Бялобжеский, М.М. Дербенева, В.И. Мазепова [и др.]. – М.: Транспорт, 1976. – 109 с.
3. Будівельна шляхова техніка, ТОВ «Будшляхмаш» [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bshm.com.ua>
4. Пенчук В.А. Проблемы эффективной эксплуатации строительно-дорожных машин сезонного применения [Текст] / В.А. Пенчук, А.К. Кралин, А.В. Диденко // Материалы международной научно-технической конференции «Интерстроймех-2015». 2015, – С. 156-160.
5. Машины для городского хозяйства [Текст] / Г.Л. Карaban, В.И. Баловнев, И.А. Засов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
6. Доценко А.И. Коммунальные машины и оборудование [Текст] / Учеб. пособие для вузов. – М.: Архитектура–С. 2005. – 344 с.
7. Морозов М.К. Механическое оборудование заводов сборного железобетона. Расчетно-практические упражнения и курсовое проектирование [Текст] / М.К. Морозов. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1982. – 96 с.
8. Морозов М.К. Механическое оборудование заводов сборного железобетона [Текст] / М.К. Морозов. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1986. – 311 с.