

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ СНЕГОУПЛОТНЯЮЩЕЙ ТЕХНИКИ

*Русмиленко А.К.*

*Тюменский индустриальный университет, Тюмень*

**Ключевые слова:** автозимник, уплотнение снежной массы, пневмоколесный каток, снегоуплотняющая техника, планирование эксперимента, снежная масса.

**Аннотация.** В статье рассматриваются основные факторы, влияющие на энергоэффективное уплотнение снежной массы снегоуплотняющей техникой при строительстве автозимников. За основу экспериментальных исследований была взята пневмоколесная снегоуплотняющая техника на основании приведенных в статье преимуществ. На основании выбранных факторов проводится планирование экспериментальных исследований с целью определения оптимальных параметров работы снегоуплотняющей техники, экспериментальные исследования были разделены на две части: лабораторное определение оптимальных параметров работы снегоуплотняющей техники и подтверждение адекватности проведенных лабораторных экспериментов. Полученные результаты можно будет применить для разработки математической модели взаимодействия рабочего органа уплотняющей техники со снежной массой, для определения производительности снегоуплотняющей техники, а также для подбора техники и определения режимов работы при строительстве автозимников.

## METHODS OF CONDUCTING EXPERIMENTAL STUDIES TO DETERMINE THE OPTIMAL PARAMETERS OF SNOW-COMPACTING EQUIPMENT

*Rusmilenko A.K.*

*Tyumen Industrial University, Tyumen*

**Keywords:** autozymic, compaction of snow mass, factors, pneumatic roller, snow compacting equipment, experiment planning, snow mass.

**Abstract.** The article discusses the main factors affecting the energy-efficient compaction of snow mass by snow-compacting equipment during the construction of winter trucks. Pneumatic-wheeled snow-compacting equipment was taken as the basis of experimental studies on the basis of the advantages given in the article. Based on the selected factors, experimental studies were planned in order to determine the optimal parameters of the snow-compacting equipment, experimental studies were divided into two parts: laboratory determination of the optimal parameters of the snow-compacting equipment and confirmation of the adequacy of the laboratory experiments. The results obtained can be used to develop a mathematical model of the interaction of the working body of the sealing equipment with the snow mass, to determine the performance of snow-sealing equipment, as well as to select equipment and determine operating modes during the construction of autozymics.

### Введение

Временные зимние автодороги – дороги временного пользования (как правило, используются при устойчивых минусовых температурах), основание которых формируется из снега и льда [1]. За счет обширных территорий Российской Федерации, расположенных в северной части страны, где преобладают низкие температуры, сложный рельеф местности и слабая несущая способность грунта, автозимники получили широкое распространение и имеют стратегическое значение для функционирования объектов нефтегазового комплекса [2]. Заменить сеть автозимников дорогами постоянного пользования не предоставляется возможным в связи с большими экономическими затратами, возникающими из-за сложного рельефа местности и слабой несущей способности грунта, поэтому совершенствование и развитие строительства и обслуживания автозимников является актуальным. Также еще одним фактором, влияющим на актуальность, является повышение среднегодовой температуры окружающего воздуха, что сокращает срок службы и уменьшает качество временных зимних автодорог [3].

Главной задачей при строительстве автозимников является формирование проезжей части с высокой несущей способностью, для чего требуется качественное проведение этапа уплотнения снежной массы при строительстве автозимников [4]. Факторы, влияющие на качество уплотнения со стороны уплотняемой снежной массы: изначальная плотность; гранулометрический состав; высота слоя; влажность; температура; сопротивление сжатию; сопротивление срезу; коэффициент вязкости. Факторы, влияющие на качество уплотнения снежной массы со стороны уплотнителя: прилагаемая нагрузка; время прилагаемой нагрузки; скорость деформации [5]. Методом факторного анализа были определены наиболее важные факторы, влияющие на качество уплотнения снежной массы, как со стороны самой снежной массы, так и со стороны уплотнителя: высота слоя уплотняемой снежной массы; прилагаемая нагрузка; время прилагаемой нагрузки; скорость деформации; количество проходов уплотнителя. В соответствии с изложенным ставится цель – определение оптимальных параметров работы снегоуплотняющей техники путем установления оптимальных показателей наиболее важных факторов (высота слоя; время и сила прилагаемой нагрузки; скорость деформации; количество проходов уплотнителя).

#### **Анализ параметров для проведения экспериментальных исследований**

Наиболее энергоэффективное уплотнение снежной массы при строительстве автозимников достигается за счет применения снегоуплотняющей техники с пневмоколесными рабочими органами, преимуществами которых являются [6]:

- 1) значительное снижение налипания и примерзания снежной массы к рабочему органу за счет его упругой деформации во время работы;
- 2) большая глубина воздействия;
- 3) увеличение времени прилагаемой нагрузки;
- 4) снижение скорости деформации снежной массы, что предотвращает ее разрушение.

На основании видимых преимуществ за основу проведения экспериментальных исследований был взят рабочий орган пневмоколесной уплотняющей техники [7]. Для экспериментальных исследований планируется разработать и собрать лабораторную установку, а также применить пневмоколесный каток.

В работе «Теория и практика использования снегоуплотняющих машин» рассматриваются теоретические и экспериментальные исследования уплотнения снежной массы [8]. Рассмотрены два основных направления использования снегоуплотняющих машин, связанных со строительством временных зимних дорог и повышением эффективности уборки уличной дорожной сети в зимнее время. Описаны выявленные закономерности изменения плотности снега в зависимости от его влажности, величины внешней нагрузки, вибрационного воздействия. Недостатком работы является отсутствие теоретических и экспериментальных исследований для уплотнения снежной массы пневмоколесным катком.

В работе «Приспособление строительных машин к условиям Российского Севера и Сибири» представлены результаты работы автора и коллектива сотрудников под его руководством, выполненные на протяжении 12 лет в Тюменском государственном нефтегазовом университете [9]. На основе теории приспособления показаны пути повышения эффективности работы строительных машин в суровых условиях эксплуатации оснащением приводов системами утилизации тепла, механизированным строительством снеголедовых дорог, а также использованием термомеханических органов землеройных машин непрерывного действия. В работе были проведены теоретические и практические экспериментальные исследования по уплотнению снежной массы штампом и шинным катком, недостатком является проведение экспериментальных исследований по уплотнению снежной массы катком для определения только количества проходов.

В статье «Пневмоколесный каток для уплотнения снежной массы» рассматривается влияние модернизации пневмоколесного катка СВЧ нагревателем на качество уплотнения снежной массы, недостатком является отсутствие проведения экспериментальных исследований по определению остальных факторов, влияющих на качество уплотнения снежной массы [10].

На основании проанализированных и частично приведенных работ следует, что определение оптимальных параметров работы снегоуплотняющей техники не проводилось, данные параметры необходимо определить для разработки рекомендаций энергоэффективного применения снегоуплотняющей техники при строительстве автозимников, что окажет влияние на качество и срок службы временных зимних автодорог, а также на затраты при их строительстве.

Актуальность проведения экспериментальных исследований в данном направлении основана на необходимости получения достоверных данных, полученных опытным путем, по уплотнению снежной массы пневмоколесным катком с целью разработки рекомендаций по применению пневмоколесной уплотняющей техники при строительстве автозимников, т.к. данных исследований не проводилось, а компьютерное моделирование процесса уплотнения снежной массы шиной пневмоколесного катка не дает достоверных результатов из-за того, что учитывает не все факторы, возникающие при процессе.

Экспериментальные исследования планируется проводить в два этапа.

I часть направлена на определение оптимальных параметров работы снегоуплотняющей техники в лабораторных условиях. Опытным путем планируется определить: оптимальную толщину уплотняемого слоя снежной массы; прилагаемая нагрузка; время прилагаемой нагрузки; скорость деформации; количество проходов уплотнителя.

II часть направлена на проведение экспериментов по подтверждению адекватности результатов проведенных лабораторных экспериментов (полевые испытания). Планируется определить соответствие параметров снежной массы, подвергаемой деформированию в полевых условиях, с параметрами снежной массы, подвергаемой деформированию в лабораторных условиях.

Объектом исследования I части экспериментальных исследований выступает активная область деформируемого слоя снежной массы, подвергаемая уплотнению со стороны шины пневмоколесного катка в лабораторных условиях, которая имитирует снежную массу в зоне проведения работ по строительству автозимника.

Оптимальными параметрами внешних факторов для проведения эксперимента в лабораторных условиях будут параметры, соответствующие данным при которых осуществляется строительство автозимников: температура воздуха – 15°С, давление – 760 мм.рт.ст, скорость ветра – 0 м/с.

Рабочая скорость передвижения пневмоколесных катков находится в пределах 2,5-6 км/ч для прицепных, 15-23,2 км/ч для полуприцепных и самоходных, следовательно, целесообразным будет проведение экспериментов в данном диапазоне [11]. Планируется проведение эксперимента при скорости перемещения шины 3,6 км/ч, так как значение скорости 3,6 км/ч равно перемещению 1 м/с, данного показателя проще добиться для лабораторной установки.

Эксперименты планируется провести со снежной массой, плотность которой соответствует плотности снежной массы лежалой сухой 200-500 кг/м<sup>3</sup>, согласно таблице 1. Для эксперимента примем значение 400 кг/м<sup>3</sup>.

Табл. 1. Плотность снежной массы [12].

Вид снега	Плотность снега, кг/м <sup>3</sup>
Свежевыпавший сухой	30-100
Свежевыпавший мокрый	100-200
Лежалый сухой	200-500
Лежалый мокрый	500-800
Очень мокрый	до 960

Эксперименты будут производиться со снежной массой толщиной 0,1; 0,14; 0,17; 0,2 м, т.к. согласно нормам ВСН-137-89 уплотнение снежной массы на полотне автозимника целесообразно при толщине снежного покрова до 20 см, следовательно, предельное наибольшее значение уплотняемой снежной массы пример равным 20 см. Укатка слоев снега

выше 25 сантиметров затруднительна, поэтому снег слоями более 25 см уплотняют после предварительного рыхления и перемешивания [13]. А при толщине снежного покрова меньше 10 см последний уплотняется под действием движения автомобилей с одновременной планировкой снежного полотна автогрейдером или волокушами, следовательно, наименьшее значение толщины снежной массы будет равно 10 см.

Так как в полевых условиях планируется провести эксперименты самоходным пневмоколесным катком (по причине малой распространённости и отсутствия прицепного катка), который за 1 проход совершает воздействие на уплотняемую снежную массу дважды (передней и задней осью), для компенсации разности значений планируется разделить емкость лабораторной установки на 2 части, в первой части будет производиться однократный проход пневмоколеса с определенными параметрами, т.е. соответствующий проходу одноосного пневмоколесного катка (прицепного), во второй части двухкратный, т.е. соответствующий проходу двух осей самоходного пневмоколесного катка, который совершается за один проход катком.

Согласно нормам ВСН-137-89 рекомендуемое количество проходов для уплотнения снежной массы пневмокотками 2-3 раза, согласно сторонним источникам при уплотнении несвязных грунтов 3-4 раза. Следовательно, эксперименты будут проведены при значениях количества проходов 1, 2, 3, 4, и 5 раз соответственно. Общие параметры для проведения экспериментальных исследований по определению оптимальных параметров работы пневмоколесных катков в лабораторных условиях показаны в таблице 2.

Табл. 2. Значения параметров для проведения экспериментальных исследований

Параметр			Значение
Статические параметры	Внешние факторы	температура воздуха	-15°C
		атмосферное давление	760 мм.рт.ст
		скорость ветра	0 м/с
	Факторы среды, подверженной уплотнению	Плотность снежной массы	400 кг/м <sup>3</sup>
	Параметры уплотнителя	Скорость перемещения шины	3,6 км/ч (1 м/с)
Динамические параметры, для определения влияния которых проводится эксперимент	Изменение значений уплотняемой среды	Изменение параметров толщины слоя уплотняемой снежной массы	10, 14, 17, 20 см
	Изменения параметров уплотнителя	Изменение параметров удельного давления, оказываемого на уплотняемую снежную массу	0,02; 0,04; 0,07 МПа
		Определение параметров оптимального количества проходов	1, 2, 3, 4, 5

Объектом проведения экспериментальных исследований II части выступает активная область деформируемого слоя снежной массы, имитирующая строящуюся проезжую часть автозимника, подвергаемую уплотнению со стороны шины пневмоколесного катка в естественных условиях.

Оптимальными параметрами внешних факторов для проведения эксперимента в естественных условиях будут параметры, соответствующие данным, при которых осуществляется строительство автозимников, а также с которыми проводились лабораторные эксперименты: температура воздуха -15°C, под эти параметры будет подбираться оптимальный день для проведения эксперимента. Подобрать день проведения эксперимента по значениям атмосферного давления и скорости ветра не предоставляется возможным, поэтому данные параметры не учитываются, но эксперименты желательно провести с параметрами, приближенными к данным проведения эксперимента. В качестве оптимального значения толщины слоя снежной массы, подвергаемого уплотнению, планируется проводить

эксперименты со слоями, эксперименты с которыми проводились в лабораторных условиях 10, 14, 17, 20 см соответственно. Достижение требуемых параметров толщины слоя будет достигаться за счет срезания верхнего слоя излишней снежной массы.

### Методика проведения экспериментальных исследований

Для проведения I части экспериментальных исследований по определению оптимальных параметров работы снегоуплотняющей техники в лабораторных условиях планируется создание лабораторной установки [14]. Разработка лабораторной установки началась с определения оптимальных параметров емкости для снежной массы.

Оптимальными размерами емкости для снежной массы приняты следующие: длина равная 2450 мм (достаточная для выполнения линейного движения уплотняющей шины лабораторной установки и выполнения замеров), ширина 300 мм, высота 300 мм (т.к. при данных параметрах стенки емкости не будут оказывать влияние на качество уплотнения) [15].

На рисунке 1 показана схема расположения точек, для проведения замеров деформации снежной массы, подвергаемой воздействию уплотнителя в емкости, где: Z1, Z2 – точки замеров после одинарного прохода шины; Z3, Z4 – точки замеров после двойного прохода шины. Оптимальным количеством точек замеров было принято 2 для однократного прохода и 2 для двукратного, так как при данном количестве точек замера можно учесть погрешность и провести параллельно экспериментальные исследования для двухосного самоходного катка и одноосного прицепного. Расстояние между точками принято равным 450 мм, от боковых точек до стенок 550 мм с целью предотвращения погрешности, вызываемой статическим воздействием уплотняющей шины при начале движения и остановке, места остановки шины показаны штриховкой. Точки располагаются на расстоянии 135 мм относительно боковой стенки емкости.

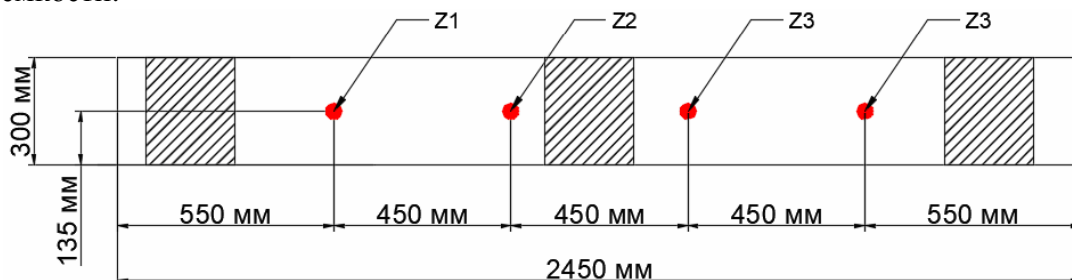


Рис. 1. Схема расположения точек для проведения замеров деформации снежной массы в емкости

На рисунке 2 показана схема лабораторной установки, включающая: 1 – груз; 2 – уплотняющая шина; 3 – подвижная опора; 4 – емкость со снежной массой; 5 – рама лабораторной установки; 6 – привод подвижной опоры; 7 – электродвигатель с приводным элементом. Лабораторная установка представляет собой уплотняющее устройство, передвигающееся линейно с подвижной опорой. Движение задается электродвигателем через цепную передачу, изменение удельного давления на грунт осуществляется за счет изменения нагрузки груза.

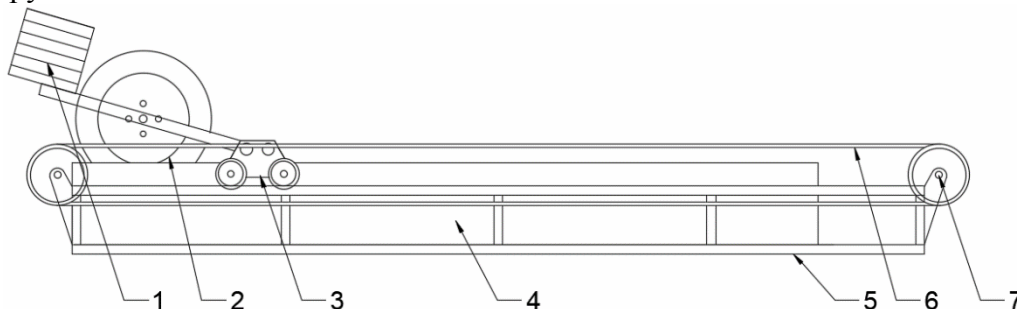


Рис. 2. Конструкция лабораторной установки для проведения экспериментальных исследований

Лабораторная установка работает следующим образом: электродвигатель через приводной механизм 6 передает движение подвижной опоре 3, передвигающейся линейно,

подвижная опора соединена с цепью замком. Перемещаясь, подвижная опора придает движение уплотняющему устройству 2, за счет изменения нагрузки груза 1 происходит изменение удельного давления уплотняющего устройства, таким образом, производятся эксперименты в лабораторных условиях с изменением требуемых параметров, замеряются результаты и выявляются зависимости.

На рисунке 3 показан общий вид лабораторной установки.

На рисунке 4 показан общий вид подвижной опоры с указанием размеров.

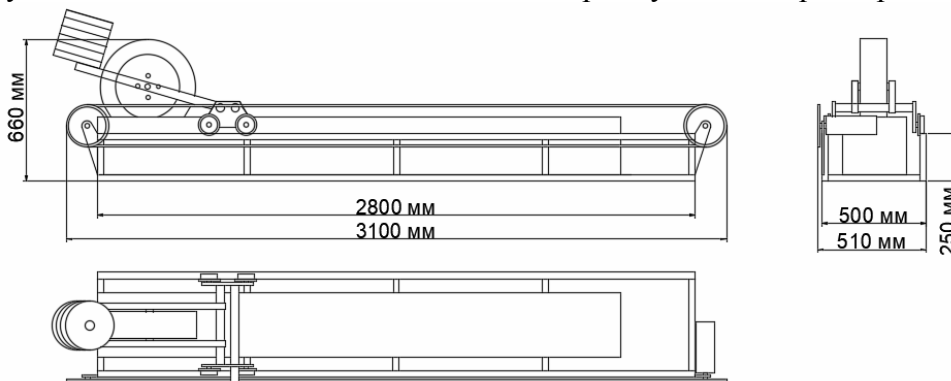


Рис. 3. Общий вид лабораторной установки для проведения экспериментов

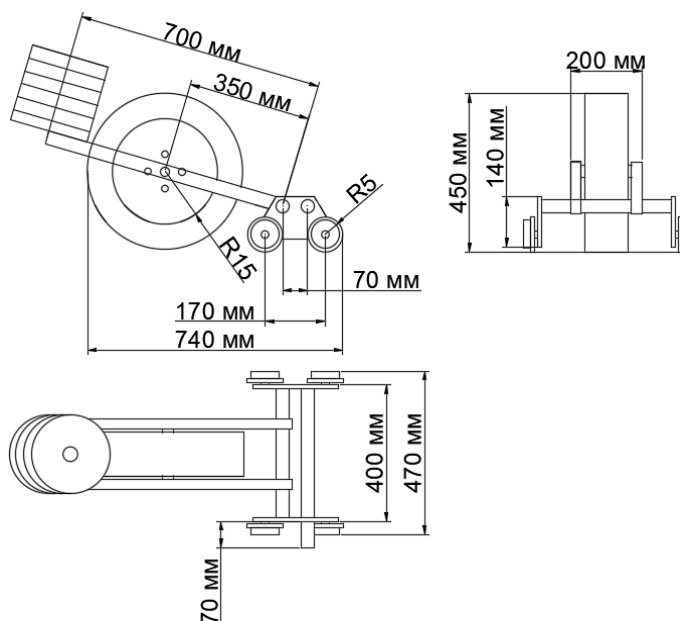


Рис. 4. Общий вид подвижной опоры с указанием размеров

Так как в полевых условиях планируется провести эксперименты самоходным пневмоколесным катком, который за 1 проход совершает воздействие на уплотняемую снежную массу дважды (передней и задней осью), для компенсации разности значений планируется разделить емкость лабораторной установки на 2 части, в первой части будет производиться однократный проход пневмоколеса с определенными параметрами, т.е. соответствующий проходу одноосного пневмоколесного катка (прицепного), во второй части двукратный, т.е. соответствующий проходу двух осей самоходного пневмоколесного катка, который совершается за один проход катком.

На рисунке 5 показана схема работы лабораторной установки для проведения эксперимента с учетом компенсации разности показателей работы одноосного и двухосного пневмоколесного катка. Принцип работы лабораторной установки состоит из следующих этапов:

I – начало движения подвижной опоры с уплотняющим устройством вдоль всей длины емкости;

II – остановка подвижной опоры с уплотняющим устройством, подъем и перемещение к середине емкости;

III – начало движения подвижной опоры с уплотняющим устройством вдоль половины емкости;

IV – остановка подвижной опоры с уплотняющим устройством.

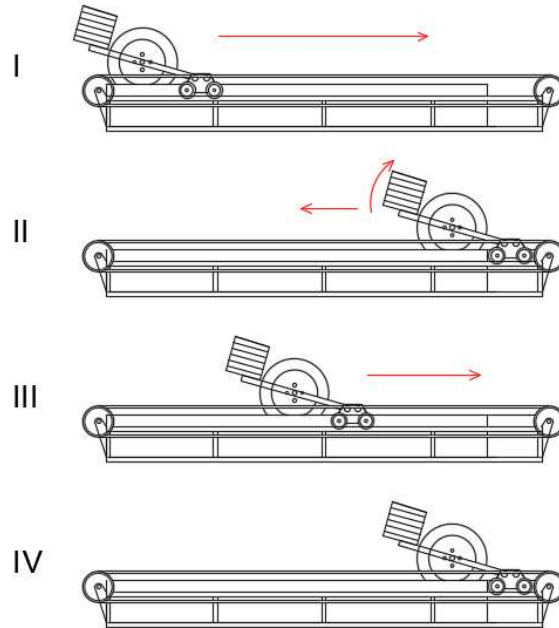


Рис. 5. Принцип работы лабораторной установки для проведения эксперимента

Для проведения II части экспериментальных исследований по подтверждению адекватности результатов проведенных лабораторных экспериментов (полевые испытания) планируется применить пневмоколесный каток марки XCMG XP163, т.к. его параметры максимально приближены к параметрам рабочего оборудования лабораторной установки. Технические параметры пневмоколесного катка XCMG XP163 приведены в таблице 3, параметры размеров шины, удельного давления определяются согласно техническим характеристикам катка. Скорость и количество проходов берется согласно экспериментам, проводимым в лабораторных условиях, следовательно, скорость 3,6 км/ч, количество проходов до 5.

Табл. 3. Рабочие параметры пневмоколесного катка XCMG XP163

Параметр	Значение
Мин/макс рабочий вес, кг	11100/16000
Ширина уплотняемой полосы, мм	2055
Перекрытие шин, мм	30
Количество шин передние/задние	4/5
Габариты	4715X2055X3058
Мощность двигателя (кВт/л.с.)	92
Шины	9.0-20-12PR

Для проведения II части экспериментальных исследований потребуется территория со снежной массой и пневмоколесный каток. На территории планируется организовать области снежной массы длиной 1 м и шириной 2 м каждая, с высотой снежной массы в каждой области 0,1; 0,14; 0,17; 0,2 м. Схема расположения областей и точек замеров в каждой области показана на рисунке 6.

Далее приведен краткий порядок проведения I части экспериментальных исследований по определению оптимальных параметров работы снегоуплотняющей техники в лабораторных условиях [16].

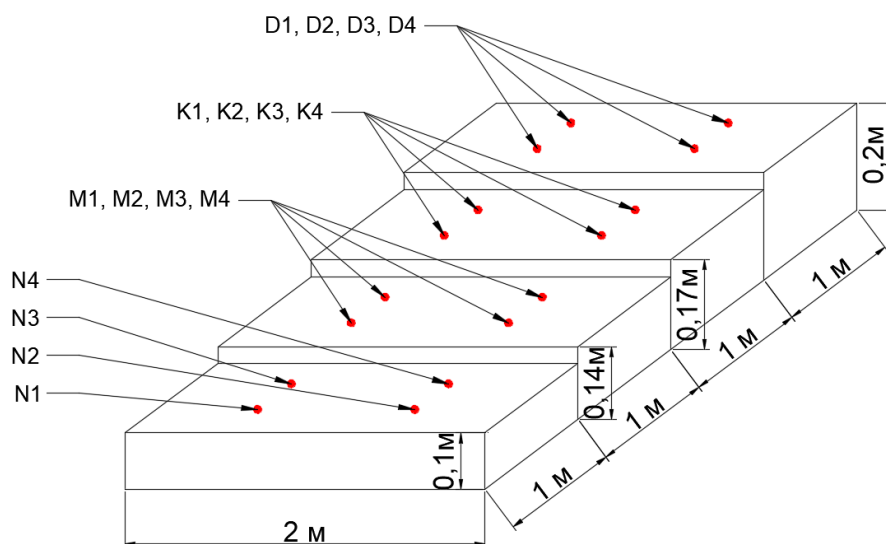


Рис. 6. Схема расположения точек, для проведения замеров деформации снежной массы: N1, N2, N3, N4 – точки замеров в местах воздействия пневмоколесного катка на снежную массу высотой 0,14 м; M1, M2, M3, M4 – точки замеров в местах воздействия пневмоколесного катка на снежную массу высотой 0,17 м; K1, K2, K3, K4 – точки замеров в местах воздействия пневмоколесного катка на снежную массу высотой 0,1 м; D1, D2, D3, D4 – точки замеров в местах воздействия пневмоколесного катка на снежную массу высотой 0,2 м

Эксперимент №1 «Определение оптимальной толщины уплотняемого слоя снежной массы». Планируется наполнить разные емкости лабораторной установки снежной массой и уплотнить снежную массу до требуемой плотности ( $400 \text{ кг/м}^3$ ) таким образом, чтобы получились слои снежной массы равные 0,1; 0,14; 0,17; 0,2 м в каждой емкости соответственно. Произвести перемещение подвижной опоры согласно схеме движения, показанной на рисунке 5 со следующими параметрами (скорость движения – 3,6 км/ч (1 м/с), количество проходов – 1, удельное давление, оказываемое шиной на поверхность снежной массы – 0,04 МПа.). После чего произвести прямое измерение глубины образовавшейся колеи и замерить плотность снежной массы методом керновых колец в местах воздействия уплотняющего устройства в соответствии с определенными точками. Повторить эксперимент с каждой емкостью.

Эксперимент №2 «Определение оптимальной нагрузки, оказываемой на снежную массу». Планируется наполнить разные емкости лабораторной установки снежной массой и уплотнить снежную массу до требуемой плотности ( $400 \text{ кг/м}^3$ ) таким образом, чтобы получился слой снежной массы равный 14 см. Произвести перемещение подвижной опоры согласно схеме движения, показанной на рисунке 5 с удельным давлением на грунт 0,04 МПа и следующими параметрами (скорость движения – 3,6 км/ч (1 м/с), количество проходов – 1). После чего произвести прямое измерение глубины образовавшейся колеи и замерить плотность снежной массы методом керновых колец в местах воздействия уплотняющего устройства в соответствии с определенными точками. Повторить эксперимент с изменением удельного давления 0,04 МПа и 0,07 МПа соответственно.

Эксперимент №3 «Определение оптимального количества проходов». Планируется наполнить разные емкости лабораторной установки снежной массой и уплотнить снежную массу до требуемой плотности ( $400 \text{ кг/м}^3$ ) таким образом, чтобы получился слой снежной массы равный 14 см. Произвести перемещение подвижной опоры согласно схеме движения, показанной на рисунке 5 со следующими параметрами (скорость движения – 3,6 км/ч (1 м/с), удельное давление, оказываемое шиной на поверхность снежной массы – 0,04 МПа). После чего произвести прямое измерение глубины образовавшейся колеи и замерить плотность снежной массы методом керновых колец в местах воздействия уплотняющего устройства в соответствии с определенными точками. После чего повторить проход и провести измерения 5 раз.



Краткий порядок проведения II части экспериментальных исследований по подтверждению адекватности результатов проведенных лабораторных экспериментов (полевые испытания) представляет собой:

Эксперимент №4 «Подтверждение адекватности результатов проведенных лабораторных экспериментов (полевые испытания)». Планируется подготовить области проведения эксперимента таким образом, чтобы длина одной области была равна 2 м, ширина 1 м, слои снежной массы в каждой области получились равными 10, 14, 17, 20 см соответственно. Произвести 1 проход пневмокотком в каждой области со скоростью 3,6 км/ч, после чего произвести прямое измерение глубины образовавшейся колеи и замерить плотность снежной массы методом керновых колец для снежной массы в местах воздействия уплотняющего устройства в соответствии с определенными точками. Повторить эксперимент с каждой областью до 5 проходов. Выполнить замер и сравнить с лабораторными данными.

### **Выводы**

В соответствии с поставленной целью был разработан комплекс экспериментальных исследований, нацеленный на определение оптимальных показателей факторов (высота слоя уплотняемой снежной массы; прилагаемая нагрузка; время прилагаемой нагрузки; скорость деформации; количество проходов уплотнителя) для дальнейшего определения оптимальных параметров работы снегоуплотняющей техники.

Таким образом, определение оптимальных параметров работы снегоуплотняющей позволит разработать метаматематическую модель взаимодействия рабочего органа уплотняющей техники со снежной массой, рассчитать теоретическую производительность снегоуплотняющей техники при проведении строительства, что в свою очередь необходимо для расчета нормативных смет, подобрать технику и режимы работы для формирования покрытия проезжей части автозимника с требуемыми параметрами, а так же определить начальные параметры при проектировании снегоуплотняющей техники.

### **Список литературы**

1. Мерданов Ш.М., Конев В. В., Карнаухов Н. Н., Райшев Д.В., Серебренников А.А., Егоров А.Л., Закирзаков Г.Г., Шаруха А.В., Медведев А.В., Казакова Н.В., Костырченко В.А., Мадьяров Т.М., Шитый В.В., Половников Е.В. Развитие транспортно-технологических систем. – Тюмень.: ТИУ, 2021. – 264 с.
2. Лагунова, Ю.А., Калянов А.Е. Транспортная инфраструктура автомобильного транспорта. – М.: Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 142 с.
3. Филиппова Н.А., Власов В.М., Богумил В.Н. Обеспечение эффективной и надежной доставки грузов северного завоза для районов крайнего севера и Арктической зоны России. – М.: ООО «Техполиграфцентр», 2019. – 224 с.
4. Мерданов Ш.М. Механизированные комплексы для строительства временных зимних дорог. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2013. – 196 с.
5. Кустарев Г.В., Баловнев В.И., Данилов Р.Г., Павлов С.А. Определение параметров и режимов уплотнения дорожных катков. – М.: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2022. – 142 с.
6. Русмиленко А.К., Егоров А.Л. Обоснование эффективности применения пневмоколесных катков при строительстве автозимников // Инновации. Интеллект. Культура: Материалы VI Международной научно-практической конференции, посвященной году М.С. Знаменского в г. Тобольске, Тобольск, 21 апреля 2023 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2023. – С. 66-69.
7. Невкина Ю.М. Проектирование вибрационного гидрошинного катка // Новые технологии – нефтегазовому региону: Материалы ежегодного Всероссийского творческого конкурса научно-исследовательских и проектных работ, Тюмень, 16-18 мая 2018 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2018. – С. 53-56.
8. Егоров А.Л., Шаруха А.В., Костырченко В.А. Теория и практика использования снегоуплотняющих машин. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2020. – 107 с.
9. Карнаухов Н.Н. Приспособление строительных машин к условиям Российского Севера и Сибири. – М.: Недра, 1994. – 352 с.
10. Тимкин А.С., Егоров А.Л., Шакмаков А.Ф. Пневмоколесный каток для уплотнения снежной // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Международной научно-практической конференции, Тюмень, 18-19 ноября 2010 года. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2010. – С. 333-334.

11. Захаренко А.В., Пермяков В.Б., Молокова Л.В. Дорожные катки: теория, расчет, применение. – СПб.: Лань, 2018. – 324 с.
12. Прокопьев А.П., Емельянов Р.Т., Иванчурам В.И., Турышева Е.С. Автоматизация неразрушающего контроля уплотнения дорожных материалов. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2021. – 156 с.
13. Савельев С. В., Пермяков В. Б., Михеев В. В., Потеряев И. К. Инновационная уплотняющая техника и рекомендации по её использованию для ресурсосберегающих технологий дорожного строительства. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2019. – 193 с.
14. Шакмаков А.Ф., Мерданов Ш.М., Обухов А.Г., Егоров А.Л. Моделирование процесса уплотнения снега пневмоколесным катком // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 4. – С. 227-230.
15. Костырченко В.А., Мадьяров Т.М., Егоров А.Л., Сидоров В.И. Создание 3D модели лабораторной установки и определение факторов, влияющих на уплотнение снежной массы в замкнутом объеме // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 12-2. – С. 302-306.
16. Плохов А.А., Костырченко В.А., Мадьяров Т.М., Мерданов Ш.М. Планирование многофакторного эксперимента «вибрационный гидрошинный каток – уплотнение снежной массы» // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 5-2. – С. 286-290.

### References

1. Merdanov Sh.M., Konev V.V., Karnaukhov N.N., Raishev D.V., Serebrennikov A.A., Egorov A.L., Zakirzakov G.G., Sharukha A.V., Medvedev A.V., Kazakova N.V., Kostyrchenko V.A., Madyarov T.M., Shity V.V., Polovnikov E.V. Development of transport and technological systems. – Tyumen: TIU, 2021. – 264 p.
2. Lagunova Yu.A., Kalyanov A.E. Transport infrastructure of automobile transport. – М.: IP Ar Media, 2022. – 142 p.
3. Filippova N.A., Vlasov V.M., Bogumil V.N. Ensuring efficient and reliable delivery of northern cargo for the regions of the Far North and the Arctic zone of Russia. – М.: LLC “Tehpolygraphcenter”, 2019. – 224 p.
4. Merdanov Sh.M. Mechanized complexes for the construction of temporary winter roads. – Tyumen: Tyumen State Oil and Gas University, 2013. – 196 p.
5. Kustarev G.V., Balovnev V.I., Danilov R.G., Pavlov S.A. Determination of parameters and compaction modes of road rollers. – М.: Moscow Automobile and Highway State Technical University (MADI), 2022. – 142 p.
6. Rusmilenko A.K., Egorov A.L. Justification of the effectiveness of using pneumatic rollers in the construction of winter roads // Innovations. Intelligence. Culture: Materials of the VI International Scientific and Practical Conference dedicated to the year of M.S. Znamensky in Tobolsk, Tobolsk, April 21, 2023. – Tyumen: Tyumen Industrial University, 2023. – P. 66-69.
7. Nevkina Yu.M. Design of a vibrating hydraulic tire roller // New technologies for the oil and gas region: Materials of the annual All-Russian creative competition of research and design works, Tyumen, May 16-18. – Tyumen: Tyumen Industrial University, 2018. – P. 53-56.
8. Egorov A.L., Sharukha A.V., Kostyrchenko V.A. Theory and practice of using snow compacting machines. – Tyumen: Tyumen Industrial University, 2020. – 107 p.
9. Karnaukhov N.N. Adaptation of construction machines to the conditions of the Russian North and Siberia. – М.: Nedra, 1994. – 352 p.
10. Timkin A.S., Egorov A.L., Shakmakov A.F. Pneumatic roller for compacting snow mass // Problems of functioning of transport systems: Materials of the International Scientific and Practical Conference, Tyumen, 18-19 November, 2010. – Tyumen: Tyumen State Oil and Gas University, 2010. – P. 333-334.
11. Zakharenko A.V., Permyakov V.B., Molokova L.V. Road rollers: theory, calculation, application. – SPb.: Lan, 2018. – 324 p.
12. Prokopyev A.P., Emelyanov R.T., Ivanchuram V.I., Turyshcheva E.S. Automation of non-destructive testing of compaction of road materials. – Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2021. – 156 p.
13. Savelyev S.V., Permyakov V.B., Mikheev V.V., Poteryayev I.K. Innovative compacting equipment and recommendations for its use for resource-saving technologies of road construction. – Омск: Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), 2019. – 193 p.
14. Shakmakov A.F., Merdanov Sh.M., Obukhov A.G., Egorov A.L. Modeling the process of snow compaction with a pneumatic roller // Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. 2012, no. 4, pp. 227-230.
15. Kostyrchenko V.A., Madyarov T.M., Egorov A.L., Sidorov V.I. Creation of a 3D-model of a laboratory installation and determination of factors influencing the compaction of snow mass in a closed volume // Fundamental Research. 2016, no. 12-2, pp. 302-306.
16. Plokhov A.A., Kostyrchenko V.A., Madyarov T.M., Merdanov Sh.M. Planning a multifactorial experiment “vibrating hydraulic tire roller - snow mass compaction” // Modern high-tech technologies. 2016, no. 5-2, pp. 286-290.

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

<b>Русмиленко Антон Константинович</b> – аспирант rustorm@bk.ru	<b>Rusmilenko Anton Konstantinovich</b> – postgraduate student
--	--

*Получена 15.07.2023*