

# Моделирование снеготранспорта на дорогах

## Введение

Разработка геометрии дорог и дорожного покрытия, которые будут устойчивы к климатическим условиям и времени года, является нетривиальной задачей, решение которой поможет решить множество проблем с обслуживанием и сроком службы транспортных путей.

Классическим способом моделирования является создание физической модели и ее последующее испытание в аэродинамических тоннелях. Такой способ обрел популярность в России, Японии, Франции, США, Китае и Румынии в начале XX века [1,2]. Но существенным недостатком такого способа является воспроизведение уменьшенных моделей реального исследуемого объекта, что требует значительных финансовых расходов.

С развитием CFD-моделирования появилась возможность использовать программно-вычислительные комплексы. При значительно меньших финансовых затратах они позволяют моделировать физические процессы с высокой точностью, используя реальные размерные параметры геометрии.

Для построения модели было выбрано ПО FlowVision и выделен элементарный участок автомобильной дороги М-4 «Дон» на км 542+000 в Воронежской области. Климатическая характеристика места расположения опытного участка автомагистрали приведена в Таб.1. [3]

Таб.1: Климатическая характеристика места расположения автомобильной дороги М-4 «Дон» на км 542+000 в Воронежской области

Средняя месячная и годовая температура воздуха, °С												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
-9,8	-9,6	-3,7	6,6	14,6	17,9	19,9	18,6	13,0	5,9	-0,6	-6,2	5,6

Среднее максимальное суточное количество осадков (мм)												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
8	6	8	11	15	19	22	17	15	14	11	11	13

Среднее годовое число дней с гололедом							
X	XI	XII	I	II	III	IV	Год
0,9	3	8	6	4	2	0,3	24

Среднее годовое число дней с метелями							
X	XI	XII	I	II	III	IV	Год
0,4	3	6	8	7	5	0,5	30

Среднее годовое число дней с туманами												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год

5	6	6	3	0,5	0,4	1	1	2	3	6	12	76
---	---	---	---	-----	-----	---	---	---	---	---	----	----

Среднее число дней со скоростью ветра, равной или превышающей заданное значение													
Скорость Ветра, м/с	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
≥8	9,3	9,6	9,7	8,4	8,0	4,7	3,4	4,2	5,6	7,4	8,4	9,4	88
≥15	1,7	1,7	2,1	1,1	1,3	1,1	0,8	0,5	0,6	0,8	0,9	1,5	1,4
≥20	0,1	0,3	0,6	0,1	0,0	0,2	0,1	-	-	0,3	0,2	0,1	2
≥30	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1

### Характеристика участка автомагистрали М-4 «Дон» на км 542+000 в Воронежской области

В течение двух зимних периодов на участке дороги проводились опытно-экспериментальные работы, которые в себя включили:

- наблюдение с помощью дорожных видеокамер, размещенных на трассе;
- проведение специальной снегосъемки – измерение высоты снега, после прохождения метелей и снегопадов.
- анализ данных автоматических дорожных метеостанций, размещенных на трассе.

Схема федеральной трассы М-4 «Дон» на участке Москва – Воронеж с указанием места размещения опытного участка приведена на Рис.1.



Рис.1. Схема федеральной трассы М-4 «Дон» на участке Москва – Воронеж с указанием места размещения опытного участка

Схема расстановки ограждения, геометрические параметры поперечного профиля и материалы видеонаблюдений на опытном участке приведены на Рис.2.

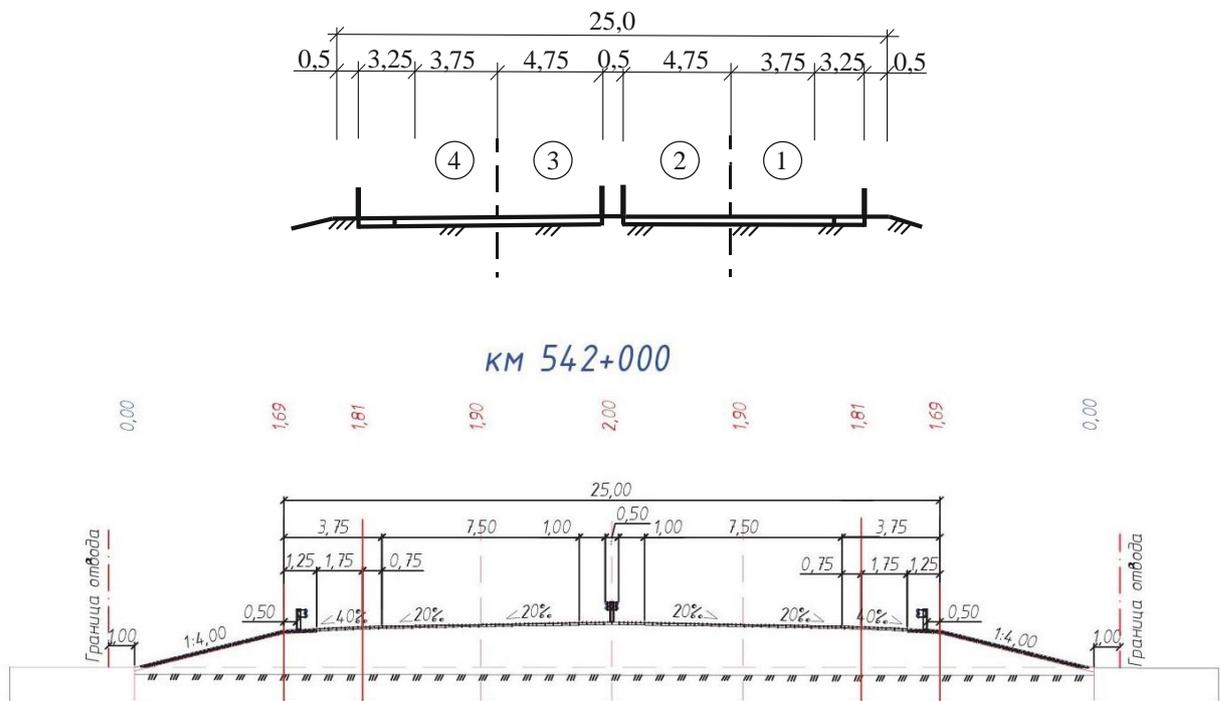


Рис.2. Схема расстановки ограждений, поперечный профиль и материалы видеонаблюдений на опытном участке и автомобильной дороге М-4 «Дон»

Автомобильная магистраль имеет на опытном участке несколько рядов барьерных ограждений для обеспечения безопасности движения. Наличие барьерных ограждений приводит к тому, что в зимний период участки дорог с ограждениями заносятся снегом при любой высоте насыпи при прохождении метелей, если они не защищены лесными полосами или лесными массивами.

В начале зимнего периода, при прохождении первой метели, и в течение зимнего периода при условии полной очистки барьерных ограждений от снега, ограждения будут работать как снегопередающие устройства. Если снег не убирается из-под барьерных ограждений, то они превращаются в сплошную преграду для переносимого метелью снега, и начинают работать как сплошные снегозадерживающие преграды.

При высоте стандартного ограждения  $H = 0,75$  м и высоте просвета  $h = 0,44$  м, его просветность составляет  $u = 0,6$ . Схема барьерного ограждения приведена на Рис.3.



Рис.3 Схема барьерного ограждения

Проблема исследования влияния барьерных ограждений на снеготранспортность автомагистралей является актуальной, так как ее решение позволит повысить безопасность движения в сложных погодных условиях.

Высота снеготранспортной насыпи определяется по формуле:

$$h = h_s + \Delta h$$

где  $h$  – высота незаносимой насыпи, м;  $h_s$  – расчетная высота снегового покрова, с вероятностью превышения 5%;  $\Delta h$  – возвышение бровки насыпи над расчетным уровнем снегового покрова для обеспечения ее незаносимости, м.

Расчетная высота снегового покрова с вероятностью превышения 5% для метеостанции «Воронеж, агро» составляет  $h_s = 0,48$  м.

Возвышение бровки насыпи над расчетным уровнем снегового покрова для дорог категории I необходимо назначать, не менее 1,2 м.

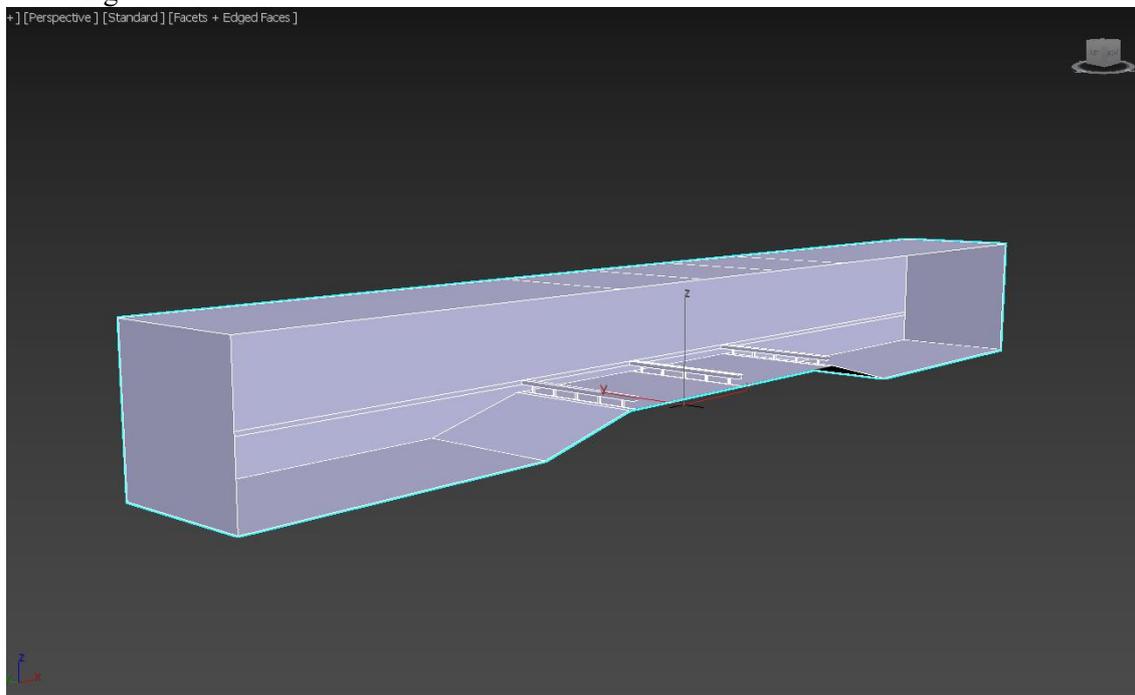
Следовательно, высота снеготранспортной насыпи составит:

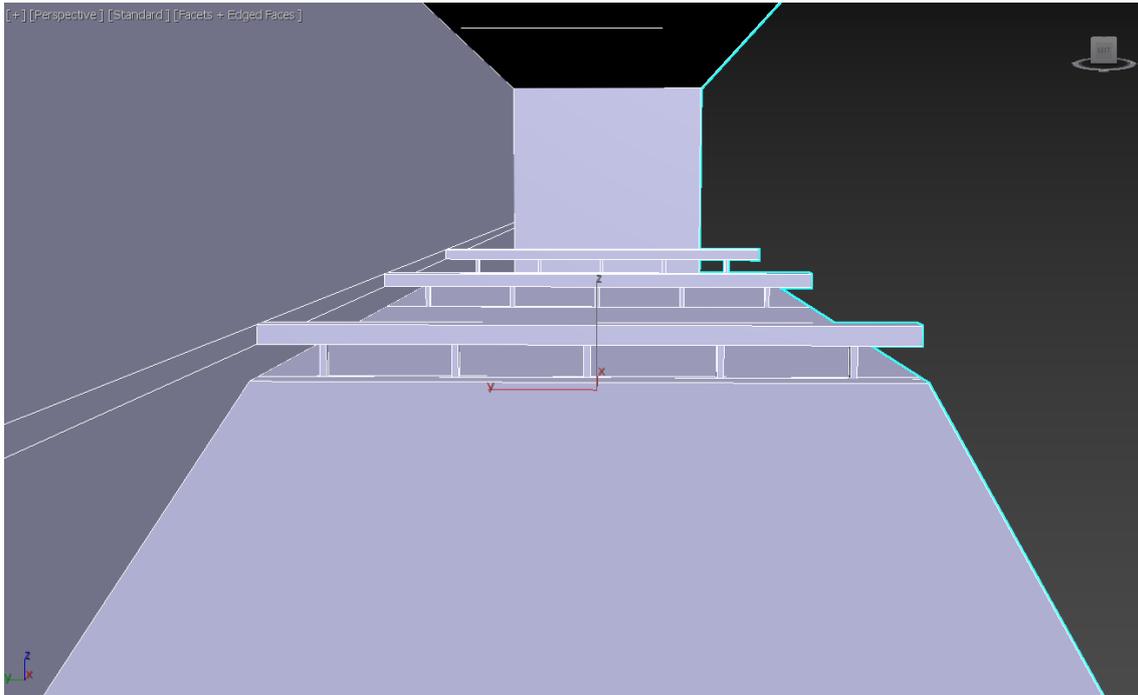
$$h = 0,48 + 1,2 = 1,62 \text{ м}$$

Таким образом, опытный участок не относится к «среднезаносящим» и «сильнозаносящим» в связи с тем, что насыпь данного участка имеет высоту 2,0 м. Участок интересен для исследования, так как на нем отсутствуют средства снегозащиты, и весь объем снегоприноса имеет доступ к проезжей части дороги.

## Геометрическая модель

Модель опытного участка автомагистрали создавалась с помощью техники «cube modeling».





## Моделирование снеготранспортируемости опытного участка автомагистрали

В рамках данной работы проведено моделирование 4-х снеговетровых потоков. Потоки характеризуются разными скоростями течения, а именно 15, 20, 25, 30 м/с

Метелевый поток имеет ограниченную транспортирующую способность дисперсной фазы (снега), что подтверждается экспериментальными исследованиями и зависит от скорости течения сплошной фазы. При условии, если метелевый поток является насыщенным, то расход снега можно определить по приближенной формуле:

$$W_n = 0,08 \cdot (V_\phi - 5)^3$$

где  $V_\phi$  – скорость ветра на высоте флюгера (10 м), м/с;  $W_n$  – полный расход, г/м<sup>2</sup>с.

В данной работе исходим из того, что метелевый поток является насыщенным и масса снега, участвующая в процессе, остается неизменной, то есть снег не испаряется, как это происходит в реальных условиях. Второе допущение сделано исключительно для упрощения модели и ускорения расчета. Данный процесс может быть включен в рассматриваемую модель.

Массовый расход сплошной фазы будем определять из условия плотности среды и скорости течения потока. Плотность среды принимается применительно к нормальному атмосферному давлению и температуре -5°C.

### Исходные данные

Исходные данные для расчета представлены в Таб.2.

Таб.2: Исходные данные для расчета

Наименование показателя	Значение показателя при скорости течения потока, м/с			
	15	20	25	30
Массовый расход сплошной фазы, кг/м <sup>2</sup> с	19,745	26,326	32,908	39,489
Массовый расход	80	270	640	1250

Наименование показателя	Значение показателя при скорости течения потока, м/с			
дисперсной фазы, г/м <sup>2</sup> с				
Доля дисперсной фазы в потоке, %	0,0016	0,0054	0,0128	0,025
Атмосферное давление, Па	101325			
Температура среды, К (°С)	268 (-5)			
Плотность дисперсной фазы, кг/м <sup>3</sup>	50			
Плотность сплошной фазы, кг/м <sup>3</sup>	1,3163			

### Результаты расчета

Результат расчета приведен в виде объема снега, отложившегося за метель продолжительностью 20 мин. на поверхности насыпи, Таб.3.

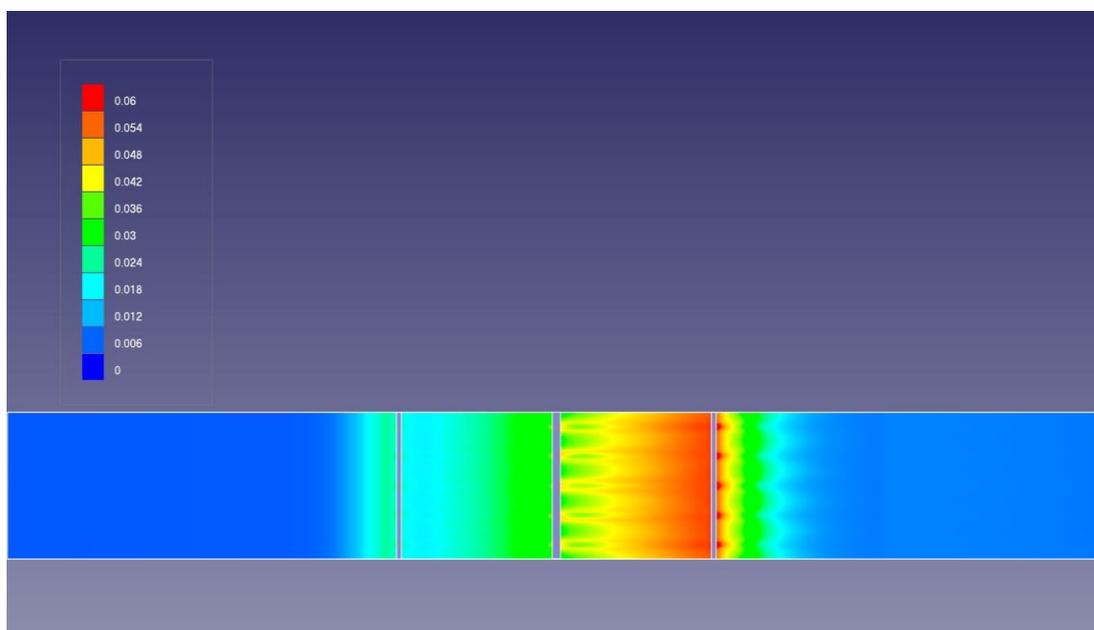


Рис. 4 Пример картины для доли дисперсной фазы

Таб.3: Объем снега, отложившегося за метель продолжительностью 20 мин.

Расчетное сечение	Объем снега м <sup>3</sup> при скоростях ветра:			
	15 м/с	20 м/с	25 м/с	30 м/с
Наветренная обочина	0,17	0,40	0,75	1,24
Наветренная проезжая часть	0,29	0,94	1,57	2,27
Разделительная полоса	0,29	0,64	1,07	1,54
Подветренная проезжая часть	0,76	1,67	2,73	3,90
Подветренная обочина	0,52	1,15	1,88	2,69

На Рис.5 приведены данные из Таб.3 в графическом виде.

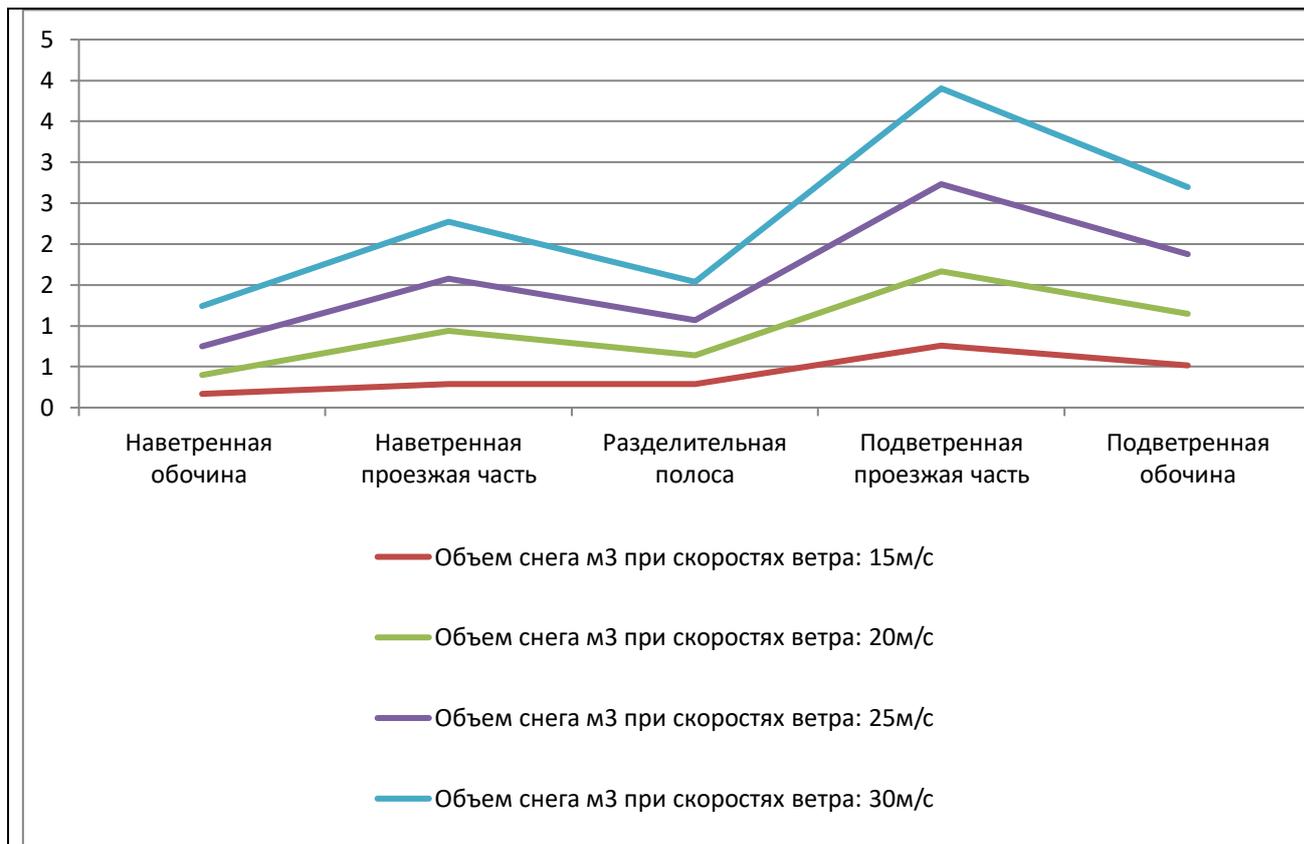


Рис.5. График распределения объема снега за 20-ти минутную метель

Таб.4: Объем снега, отложившегося за метель продолжительностью 60 мин.

Расчетное сечение	Объем снега м <sup>3</sup> при скоростях ветра:			
	15 м/с	20 м/с	25 м/с	30 м/с
Наветренная обочина	0,84	1,99	3,75	6,21
Наветренная проезжая часть	1,45	4,70	7,87	11,37
Разделительная полоса	1,45	3,20	5,35	7,68
Подветренная проезжая часть	3,79	8,33	13,66	19,52
Подветренная обочина	2,58	5,73	9,38	13,47

Далее рассчитаем часовую интенсивность накопления снега на проезжей части, для этого разделим объемы снега на площади элементов автомобильной дороги ( $S_{пр.ч} = 75\text{м}^2$ ;  $S_{разд.п} = 15\text{м}^2$ ;  $S_{обоч.} = 37,5\text{м}^2$ ) на элементарном участке, тем самым, равномерно распределив снег по поверхности. Результаты расчета представлены в Таб.5.

Таб.5: Интенсивность накопления снега за метель продолжительностью 60 мин.

Расчетное сечение	Объем снега мм/ч при скоростях ветра:			
	15 м/с	20 м/с	25 м/с	30 м/с
Наветренная обочина	22	53	100	166
Наветренная проезжая часть	19	63	105	152

Разделительная полоса	97	213	357	512
Подветренная проезжая часть	51	111	182	260
Подветренная обочина	69	153	250	359

### Общие выводы

1. Программный комплекс FlowVision может использоваться для моделирования снегозаносимости автомагистралей.
2. Результаты расчета можно использовать для совершенствования методики определения параметров патрульной снегоочистки при зимнем содержании автомобильных дорог.

## Список литературы

1. Смирнов И.В. О снежных отложениях в условиях искусственной и естественной метели и о работе метелемеров. Сб. ЦНИУ НКПС, вып.109. «Специальные геофизические исследования на транспорте». М, 1930, с.79-85.
2. Смирнов И.В. Снежные отложения в условиях искусственной метели. Тр. Геофиз. Обсерватории в Кучине. «Геофизический бюллетень». – М., 1936, №14.
3. Методические рекомендации по определению климатических характеристик при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов. – М.: Гипродорнии, 1988. – 54с.