

## К ВОПРОСУ О СТРОИТЕЛЬСТВЕ СНЕЖНОГО АЭРОДРОМА ДЛЯ ТЯЖЕЛЫХ КОЛЕСНЫХ САМОЛЕТОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АНТАРКТИДЕ, НА СТАНЦИИ ВОСТОК

мл. науч. сотр. С.П.ПОЛЯКОВ, канд. геогр. наук Б.В.ИВАНОВ,  
канд. физ.-мат. наук А.В.КЛЕПИКОВ,  
канд. геогр. наук В.Д.КЛОКОВ, рук. РАЭ В.В.ЛУКИН,  
зам. нач. РАЭ В.Л.МАРТЬЯНОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, e-mail: aaricoop@aari.nw.ru

*Экспериментальные исследования проводились при поддержке гранта РФФИ №08-05-00279 «Исследования процессов энергомассообмена в деятельном слое ледников прибрежных районов Антарктиды».*

*Станция Восток находится в центральной части материка, в зоне сухого снега. Максимальная температура поверхности снежного покрова, как правило, не превышает  $-25^{\circ}\text{C}$ . Холодный снег плохо поддается искусственному уплотнению, что является основной проблемой при строительстве ВПП в таких районах.*

*Основная цель данной работы — исследование изменений физико-механических свойств снега поверхности существующей ВПП ст. Восток при различных механических воздействиях на нее.*

*Механические воздействия на снег оказывались с помощью штамповых испытаний в диапазоне давлений от 0,05 до 1,5 МПа. После воздействия регистрировались изменения прочности, твердости, плотности, текстуры и структуры снежного покрова, а также измерялась пластическая деформация и оценивалась глубина воздействия на снежный покров.*

*Выявлен ряд интересных закономерностей, в том числе изменение прочности снежного покрова во времени, после механического воздействия. Так, через трое суток прочность снежного покрова, подверженного механическому воздействию, возросла примерно в полтора раза по сравнению с тем, что было непосредственно через три часа после механического воздействия. Получены значения оптимальных давлений на поверхность снега для достижения прочности покрытия, достаточного для посадки Ил-76ТД. Выявлены структурные изменения снега после различных механических воздействий на него. Полученные экспериментальные данные позволяют создать теоретическую модель уплотнения холодного снега.*

*Ключевые слова:* снежный аэродром, пластическая деформация, механическое уплотнение, штамповые испытания, уплотнение снега,

### ВВЕДЕНИЕ

Представленная ниже работа проводилась с целью исследования возможности создания аэродрома на внутриконтинентальной станции Восток (Центральная Антарктида), пригодного для эксплуатации тяжелых самолетов на колесном шасси, типа Ил-76ТД. Актуальность данной тематики связана с большим интересом со стороны научного сообщества к исследованиям в центральной части Антарктического материка. При этом многие, и не только российские научные группы, базируются на расположенной в центральной части Антарктиды станции Восток. Все больший оборот грузов и специалистов через эту станцию заставляет задуматься о возможности использования имеющегося на станции снежного аэродрома для посадки тяжелых колесных самолетов, например, таких, как Ил-76ТД.

Экспедиционные работы на станции Восток проводились в течение 2 летних сезонов – 52-й и 53-й РАЭ. За основной метод воздействия на существующую взлетно-посадочную полосу (ВПП) был принят метод механического уплотнения снежной поверхности, как наиболее легко осуществимый и экономически менее затратный.

Основная цель данной работы – исследование изменений физико-механических свойств поверхности существующей ВПП станции Восток при различных механических воздействиях на нее. Исследования проводились с помощью штамповых испытаний в нескольких зонах ВПП, охватывающих весь диапазон физико-механических свойств существующей ВПП.

#### МЕТОДИКА РАБОТЫ

На первом этапе работ было проведено исследование современного состояния существующей ВПП. По всей площади поверхности ВПП были проведены измерения твердости, прочности на одноосное сжатие и плотности снежного покрова на разных горизонтах до глубины 1 м. Определение твердости снежного покрова приведено в работе [1]. Также был проведен текстурно-структурный анализ снега. Твердость покрытия, осредненная как по всей площади, так и по всем горизонтам до глубины 1 м, измерялась с помощью стандартного конического пенетromетра с энергией разрушения 8,5 Дж, диаметром наконечника 12 мм и углом атаки 30°, составила 0,44 МПа. Прочность на одноосное сжатие измерялась с помощью гидравлического пресса и аналогично осредненная по всей ВПП составила соответственно 0,41 МПа. Ниже, говоря о прочности снежного покрова, мы будем подразумевать прочность на одноосное сжатие. Средняя плотность снежного покрова ВПП составила 500 кг/м<sup>3</sup>. Средний размер зерна снежного покрова ВПП составил 0,2 мм. На глубине от 40 до 60 см был обнаружен слой глубинной изморози толщиной около 5 см. Размер снежных зерен в этом слое достигал 2 мм, а твердость данного слоя не превышала 0,1 МПа.

На основании представленных выше результатов можно сделать вывод, что в существующем на сегодняшний день виде ВПП по качеству покрытия не пригодна для приема тяжелых колесных самолетов типа Ил-76ТД (для Ил-76ТД прочность покрытия ВПП должна быть не менее 1,0 МПа).

С помощью пенетromетра на существующей ВПП были выбраны 5 площадок для проведения штамповых испытаний. Площадки выбирались таким образом, чтобы охватить весь диапазон физико-механических характеристик снежного покрытия, имеющийся на ВПП, при этом минимальная твердость покрытия составила 0,2 МПа, максимальная – 0,8 МПа. В качестве штампов использовались металлические пластины толщиной 10 мм и площадью соответственно 650 и 1500 см<sup>2</sup>. В качестве упора гидравлического домкрата, которым приводились в движение штампы, использовалась цистерна с топливом на санях, общим весом более 30 т.

На каждой из выбранных площадок было проведено не менее 5 штамповых испытаний с различным давлением на снежную поверхность. Диапазон давлений от 0,1 МПа до 1,6 МПа. После каждого штампового испытания измерялась глубина пластической деформации снежной поверхности, а также изменения физико-механических характеристик снежного покрова в зоне действия штампа.

Изменение твердости покрытия измерялось как сразу после механического воздействия, так и по прошествии некоторого времени – от нескольких часов до нескольких дней. Измерение плотности и прочности, а также текстурно-структурный анализ в зоне действия штампа проводились по прошествии не менее 3 суток после воздействия, по выбуренным кернам.

Для исключения масштабного эффекта изменение твердости покрытия дополнительно было исследовано с помощью эксперимента «штамп в штамп». Сначала снежный покров уплотнялся штампом большей площади, а затем по проше-

ствии 3 суток в это место внедрялся штамп меньшей площади. Таким образом нам удалось оценить несущую способность уплотненной поверхности в масштабе, сравнимом с размером отпечатка колеса шасси самолета Ил-76ТД.

Все работы по штамповым испытаниям проводились на ВПП в дневное время. Средняя температура поверхности снега за период работ составила  $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ , с отклонениями в обе стороны не более  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура снега на глубине 1 м за весь период работ была практически постоянной и составляла около  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Проведен полный комплекс измерений физико-механических характеристик снежного покрова ВПП до и после воздействия штампом на всех 5 выбранных площадках. В табл. 1 указаны градации твердости покрытия, по которым были выбраны площадки для штамповых испытаний, а также значение пластических деформаций в мм, вызванных различным давлением от штампа для разных площадок.

Скорость пластической деформации при штамповых испытаниях не превышала 0,02 м/с, при этом разрушительной деформации не наступало [3].

Глубину воздействия штампа на снежный покров определенной твердости можно определить по изменению плотности и прочности на одноосное сжатие толщи ВПП после воздействия штампом. На рис. 1 представлено изменение плотности и прочности снежного покрова после воздействия штампом с давлением

Таблица 1

Значение пластических деформаций в мм, вызванных на разных площадках штампом с различным давлением

№ площадки, твердость покрытия	Давление штампа, МПа	Деформация, мм
№ 1, тв. покр. – 0,2 МПа	0,2	12
	0,4	30
	0,6	45
	0,8	75
	1,0	140
№ 2, тв. покр. – 0,4 МПа	0,2	10
	0,4	20
	0,6	40
	0,8	60
	1,0	115
№ 3, тв. покр. – 0,5 МПа	0,2	5
	0,4	15
	0,6	25
	0,8	50
	1,0	85
№ 4, тв. покр. – 0,65 МПа	0,2	3
	0,4	5
	0,6	10
	0,8	15
	1,0	25
№ 5, тв. покр. – 0,8 МПа	0,2	2
	0,4	3
	0,6	5
	0,8	8
	1,0	15

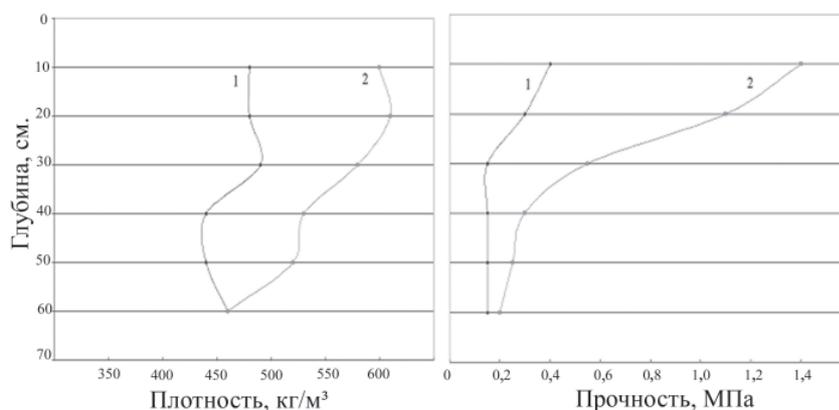


Рис. 1. Изменение прочности и плотности снежного покрова после воздействия штампом с давлением 1,3 МПа на площадке № 2: 1 – до воздействия, кривая 2 – после воздействия штампом на снежный покров

1,3 МПа и соответственно вертикальной пластической деформацией 165 мм на площадке № 2, твердость покрытия которой соответствует средней твердости покрытия всей существующей ВПП.

Из данного рисунка нетрудно заметить, что глубина воздействия при таком давлении достигла 50 см, а также сделать предположение об уменьшении вертикальных напряжений в толще ВПП. В частности, можно предположить, что поскольку ниже определенного горизонта плотность и прочность снежного покрова не меняются, то вертикальные напряжения на данном горизонте меньше прочности покрытия.

Также на площадке № 2 было проведено несколько опытов «штамп в штамп». При таких испытаниях исключается масштабный эффект, так как площадь штампа сравнима с площадью пятна от колеса шасси самолета Ил-76ТД. В точке № 1 большим штампом было оказано воздействие с давлением 0,75 МПа, а в точке № 2 соответственно 0,5 МПа. По прошествии 3 суток на снежный покров в обеих точках было оказано воздействие штампом меньшей площади с давлением 1,2 МПа. Давление 1,2 МПа было выбрано не случайно. Покрытие ВПП, выдерживающее такое давление, гарантированно достаточно для посадки Ил-76ТД. В точке № 1 деформация поверхности пренебрежимо мала (менее 5 мм), в то время как в точке 2 деформация покрытия составила 165 мм, что недопустимо для колесного самолета типа Ил-76ТД. Здесь нужно отметить, что скорости деформаций снега от колеса шасси самолета практически будут равны скорости самого самолета при посадке и, соответственно, явно превысят порог перехода в зону разрушительных деформаций. При разрушительной деформации будет происходить выброс снега из-под колес шасси самолета, и, соответственно, при тех же нагрузках глубина колеи может быть в несколько раз больше. С другой стороны, очень важно, что при посадке или взлете самолета на снежный покров оказываются кратковременные нагрузки с очень большой скоростью нагружения и в этом случае в снежном покрове не успевают развиваться пластические деформации, которые развиваются при штамповых испытаниях с аналогичным давлением. Пластические деформации покрытия при большей скорости нагружения, соответствующей воздействию колеса шасси самолета, будут меньше, чем деформации при штамповом испытании с аналогичным давлением. Таким образом, можно сделать предварительный вывод, что минимальное необходимое давление для уплотнения ВПП находится в интервале 0,5–0,75 МПа.

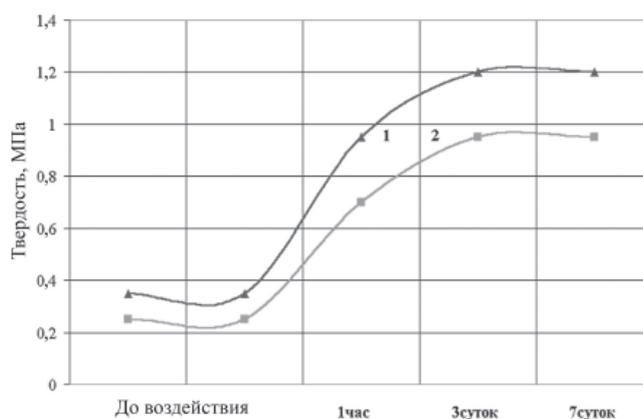


Рис. 2. Изменение твердости покрытия ВПП после воздействия штампом с определенным давлением в течение времени: 1 – давление штампа 1,0 МПа на площадке № 2, 2 – давление штампа 0,8 МПа на площадке № 1

Также были проведены эксперименты по определению изменений твердости покрытия ВПП во времени после воздействия штампа. Результаты таких измерений представлены на рис. 2.

Сразу после уплотнения снега твердость покрытия может даже уменьшиться, что связано с разрушением механических связей между зернами снега, но с течением времени происходит смерзание зерен и твердость увеличивается, превышая исходную. Одним из результатов данного эксперимента можно считать установленный факт, что по истечении 3 суток после механического воздействия происходит почти полное смерзание зерен снега, после чего твердость покрытия практически не меняется.

В табл. 2 представлена обобщенная информация об изменении прочности и плотности поверхностного слоя снега под воздействием различных давлений штампа для средних исходных характеристик снега существующей ВПП. Как видно из таблицы, максимальное значение прочности снега, равное 3 МПа, было получено после давления штампом, равного 1,6 МПа. При этом плотность слоя снега достигла 660 кг/м<sup>3</sup>, а средний размер зерен снега уменьшился примерно в 1,5 раза после воздействия.

В районе ВПП станции Восток был организован полигон для определения снегонакопления. За период с января 2007 г. по январь 2008 г. снегонакопление в районе ВПП составило 42 мм, что соответствует среднемноголетним значениям [3].

Таблица 2

Прочность  $\sigma$  и плотность  $\rho$  снега на поверхности ВПП, образовавшегося после воздействия давлением штампа  $P$  и соответствующей данному давлению деформации  $\epsilon$ , для средних исходных характеристик снега

$P$ , МПа	$\epsilon$ , мм	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma$ , МПа
0,4	30	540	0,4
0,5	35	540	0,65
0,6	45	550	0,7
0,7	50	580	0,9
0,8	85	560	1,4
1,1	95	610	1,8
1,4	105	640	2,1
1,6	120	660	3,0

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Одним из важных результатов данной работы мы считаем полученную зависимость глубины воздействия от давления штампа для разных характеристик снега. На рис. 3 представлена обобщенная кривая для средних характеристик снежного покрова ВПП, глубины воздействия на снежный покров от давления штампа.

Зная распределение прочности в толще снежного покрова и глубину воздействия для данного давления штампа, легко оценить затухание вертикальных напряжений в толще ВПП с глубиной. Фактически вертикальные напряжения, вызванные воздействием штампа, на горизонте снежной толщи ВПП, равной глубине воздействия для данного давления штампа, равны прочности снежного покрова на данном горизонте.

Данный вывод представляется важным, так как теоретический расчет затухания вертикальных напряжений в толще ВПП весьма затруднителен из-за неоднородности и вязкости среды, которую представляет собой снежная толща ВПП.

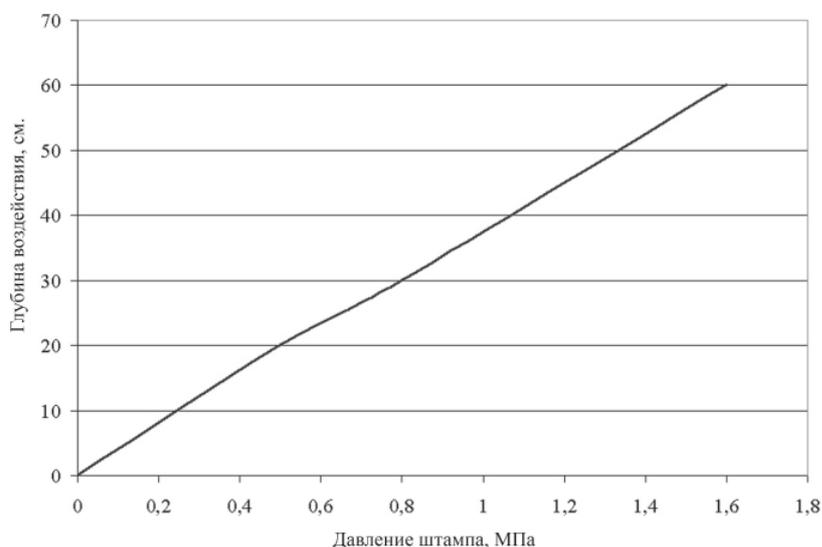


Рис. 3. Глубина воздействия на снежный покров ВПП в зависимости от давления штампа

### ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Главный вывод, который можно сделать из данной работы, – уплотнение снежного покрытия ВПП станции Восток до прочности, необходимой для посадки колесного самолета типа Ил-76ТД, возможно. Максимальная прочность уплотненного с помощью штампа снежного покрова ВПП достигла 3 МПа. Необходимое минимальное давление для уплотнения существующей ВПП составляет около 0,75 МПа. В случае поэтапного уплотнения ВПП, интервал между этапами механического воздействия должен быть как можно меньше, чтобы не давать снежным зернам смерзаться (см. рис. 2). Скорость деформации снежного покрова при штамповых испытаниях не превышала 0,02 м/с. При проектировании уплотняющего устройства необходимо придерживаться аналогичных скоростей деформации. Полученные экспериментальные данные планируется использовать как для проектирования механических устройств, уплотняющих снежный покров, так и для создания теоретической модели расчета уплотнения холодного снега.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №08-05-00279 «Исследования процессов энергомассообмена в деятельном слое ледников прибрежных районов Антарктиды» и подпрограммы «Изучение и исследование Антарктики» ФЦП «Мировой океан».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гляциологический словарь / Под ред. академика В.М.Котлякова. М.: Гидрометеиздат, 1984. 528 с.
2. Екайкин А.А, Липенков В.Я. «Рельефообусловленные» колебания характеристик снежной толщи в Антарктиде // Материалы гляциологических исследований. 2004. Вып. 97. С. 35–43.
3. «Лед и снег» – свойства, процессы, использование / Под редакцией У.Д.Кингери. М.: Мир, 1966. 480 с.

*S.P.POLIAKOV, B.V.IVANOV, A.V.KLEPIKOV, V.D.KLOKOV, V.V.LUKIN,  
V.L.MART'YANOV*

#### **ON THE BUILDING OF SNOW RUNWAY FOR THE HEAVY WHEELED AIRCRAFTS AT VOSTOK STATION, CENTRAL ANTARCTICA**

*Experimental studies were conducted within the framework of the governmental program of construction of the snow air strip at the station Vostok, suitable for exploitation of heavy wheeled airplanes, e.g. Il'ushin 76-TD.*

*Vostok is situated in the Central Antarctic, in the area of dry snow. The maximum snow surface temperature does not exceed  $-25^{\circ}\text{C}$ . The cold snow is slightly affected by the artificial compression and this is the main problem during the construction.*

*The main goal of this work is to study the physical properties of snow cover of the Vostok station air strip under the different mechanical impacts. Mechanical impacts on the snow cover were performed with the help of stamp tests in the range of pressures of 0,05–1,5 MPa. The changes of snow cover strength, hardness, density, texture and structure were registered, as well as plastic deformation and affecting depth of the snow cover were measured.*

*A number of interesting features, for instance the change of snow cover strength in time after mechanical impact was found. Three days after the test the snow cover strength increased 1,5 times comparing to the values observed 3 hours after the tests.*

*As result of experiments the values of optimal pressure on the runway, suitable for Il'ushin 76-TD landing were determined. The changes of the snow cover structure after different mechanical tests were found. The obtained field data will be used for development of theoretical model of the cold snow cover compression.*

*Key words:* snow runway, plastic deformation, mechanical impacts, stamp tests, snow density.