



## Температурное поле участка технологической плиты санно-бобслейной трассы и его расчет

Д. М. Шуравина <sup>1</sup>, Н. С. Харьков <sup>2</sup>, Д. В. Немова <sup>3</sup>, Д. Н. Цейтин <sup>4</sup>

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 195251, Россия, Санкт-Петербург, Политехническая, 29.

### ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 697

### История

Подана в редакцию 10 ноября 2013  
Оформлена 30 ноября 2013  
Согласована 30 ноября 2013

### Ключевые слова

холодоснабжение;  
санно-бобслейная трасса;  
температурное поле;  
этиленгликоль;  
ледовое покрытие.

### АННОТАЦИЯ

Показан расчет температурных полей участка технологической плиты холодоснабжения санно-бобслейной трассы. В качестве хладоносителя использовался 50% водный раствор этиленгликоля (в России на сегодняшний день санно-бобслейные трассы на таком типе хладоносителя отсутствуют). Наружные условия приняты по климатическим параметрам Пермского края в сентябре. Рассмотрено влияние межтрубного шага трубопроводов промежуточного хладоносителя и его температуры на распределение температуры ледового покрытия. Даны практические рекомендации по организации трубной системы холодоснабжения. Рассчитано минимальное значение плотности теплового потока, отводимого с поверхности трассы, для обеспечения температуры льда не выше - 4 °С.

### Содержание

1.	Введение	58
2.	Постановка задачи	58
3.	Исходные данные	58
4.	Расчет теплопритоков	59
5.	Описание расчета и граничных условий	60
6.	Результаты расчета	61
7.	Выводы	63

<sup>1</sup> Контактный автор:  
+7 (950) 035 1813; shdaria@list.ru (Шуравина Дарья Михайловна, магистрант)  
<sup>2</sup> +7 (906) 255 0243; nkharlov@mail.ru (Харьков Никита Сергеевич, к.т.н., доцент)  
<sup>3</sup> +7 (921) 890 0267; darya.nemova@gmail.com (Немова Дарья Викторовна, инженер)  
<sup>4</sup> +7 (921) 909 5171; dm.inco@gmail.com (Цейтин Дмитрий Николаевич, ведущий инженер)

## 1. Введение

На сегодняшний день в мире насчитывается всего 18 санно-бобслейных трасс, две из них расположены на территории Российской Федерации: санно-бобслейная трасса «Парамоново» (Московская область); санно-бобслейная трасса «Санки» (г. Сочи, Краснодарский край). В настоящее время планируется реализация строительства еще одной санно-бобслейной трассы в г. Чусовой Пермского края [1].

Общие конструктивные особенности и способы формирования ледовой поверхности описаны в [2-11,15 - 22]. При создании санно-бобслейной трассы огромную важность играет температура поверхности льда. Изменение температуры, даже на один градус, имеет огромное значение для качества и состояния трассы [12 - 14].

## 2. Постановка задачи

Цель настоящей работы дать практические рекомендации по организации трубной системы технологической плиты охлаждения санно-бобслейной трассы в климатических условиях Пермского края при использовании в качестве промежуточного хладоносителя 50 % водного раствора этиленгликоля.

## 3. Исходные данные

На рисунке 1 показана геометрия участка технологической плиты охлаждения.

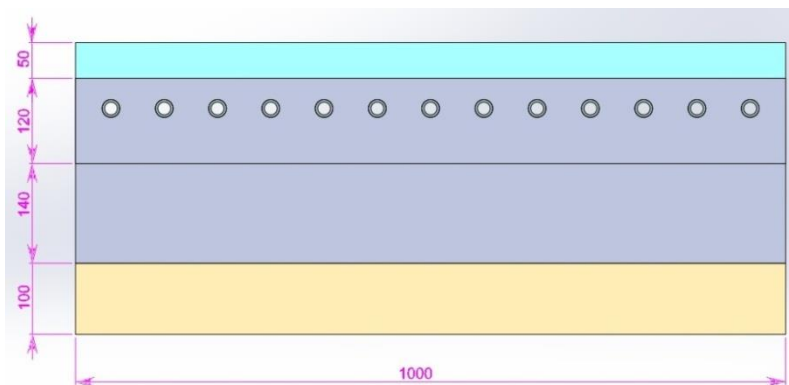


Рисунок 1. Геометрия участка технологической плиты охлаждения (поперечный разрез)

Комментарии к рисунку 1:

- ледовое покрытие 50 мм;
- железобетонное покрытие над трубопроводами 40 мм;
- толщина технологической плиты охлаждения 120 мм;
- опорная железобетонная конструкция под технологической плитой охлаждения 140 мм;
- теплоизоляция внешней поверхности желоба 100 мм;
- пластиковые трубопроводы: 25x3,5 мм.

Параметры наружного воздуха приняты для сентября месяца:

- Температура наружного воздуха +15 °С
- Среднемесячная скорость ветра 3,1 м/с
- Относительная влажность 78 % [15].

Суммарная солнечная радиация (прямая и рассеянная) на южно ориентированную вертикальную поверхность при безоблачном небе: 234 Вт\*ч/м<sup>2</sup> [16].

Свойства используемых в расчете материалов показаны в таблице 1.

Таблица 1. Свойства используемых материалов

	Плотность, $\frac{кг}{м^3}$	Удельная теплоемкость, $\frac{Дж}{кг \cdot К}$	Коэффициент теплопроводности, $\frac{Вт}{М \cdot К}$	Динамическая вязкость, $\frac{кг}{М \cdot с}$	Кинематическая вязкость, $\frac{м^2}{с}$	Коэффициент излучения материалов
50 % водный раствор этиленгликоля (при -20 °С)	1100	3110	0,409	$27,5 \cdot 10^{-3}$	$25 \cdot 10^{-6}$	-
Пластиковый трубопровод	-	-	0,35	-	-	-
Железобетон	-	-	1,7	-	-	-
Лед (при температуре -4 °С)	-	-	2,25	-	-	0,97
Воздух (при температуре 15 °С)	-	-	0,025	-	$15,11 \cdot 10^{-6}$	-
Теплоизоляция	-	-	0,03	-	-	0,9

#### 4. Расчет теплопритоков

Согласно Международным правилам по бобслею 2010 г., п. 16.17 участки трассы, открытые солнцу и/или подверженные воздействию неблагоприятных погодных условий, должны иметь необходимые для их защиты приспособления [17]. Защита может обеспечиваться закрепленными крышами в сочетании с навесами.

Таким образом, при установившемся режиме работы системы холодоснабжения теплопритоки, поступающие на  $1 м^2$  ледового покрытия, складываются из следующих составляющих:

Теплоприток от окружающего воздуха

Определяется конвективной теплоотдачей и замерзанием влаги, конденсирующейся из воздуха.

$$q_{\text{конв+конд}} = \alpha_{\text{к}} \cdot \Delta T + q_{\text{конд}}$$

Коэффициент конвективной теплоотдачи для ледовой поверхности определяется как [18]:

$$\alpha_{\text{к}} = 0.037 (\lambda_{\text{в}} / \nu_{\text{в}}^{0.8}) \cdot \nu^{0.8} \cdot L^{-0.2}$$

где  $\nu$  - среднемесячная скорость ветра в расчетный месяц, м/с;

$\lambda_{\text{в}}$  - коэффициент теплопроводности воздуха,  $\frac{Вт}{М \cdot К}$ ;

$\nu_{\text{в}}$  - коэффициент кинематической вязкости воздуха,  $\frac{м^2}{с}$ ;

$L \approx 100 м$  – линейный размер технологической плиты в направлении движения воздуха (определяется конструктивными особенностями трассы).

Коэффициент конвективной теплоотдачи для тыльной части желоба (изоляционное покрытие) определялся по формуле [6]:

$$\alpha_k = 6.37 \cdot v^{0.656} + 3.25 \cdot e^{-1.91v}$$

Теплоприток, связанный с замерзанием конденсирующейся влаги, определяется величиной влаговываждения и в данном случае составляет 70 % от конвективной теплоотдачи [18].

Теплоприток от солнечной радиации

$$q_{солн} = J_R \cdot A \cdot K$$

где  $J_R$  - суммарная солнечная радиация (прямая и рассеянная) на южно ориентированную вертикальную поверхность при безоблачном небе;

$A = 0,5$  – коэффициент поглощения слоя льда;

$K = 0,2$  – коэффициент теплопропускания солнцезащитного устройства [20].

Теплоприток за счет лучистого теплообмена между поверхностью льда и ограждающими конструкциями  $q_{луч}$  [18]:

$$q_{луч} = 5,67 \cdot \varepsilon \cdot A \cdot [(T_{оэп}/100)^4 - (T_l/100)^4]$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент излучения системы лед-ограждающие поверхности;

$T_{оэп}$  – температура ограждающих поверхностей (может быть принята абсолютной температуре окружающего воздуха);

$T_l$  – абсолютная температура поверхности льда.

Теплоприток от освещения  $q_{осв}$

Полагаем, что в светлое время суток во время максимального воздействия солнечной радиации освещение выключено.

## 5. Описание расчета и граничных условий

Численное моделирование температурного поля выполнялось в модуле Steady-State Thermal программного комплекса Ansys 14.0.

На рисунке 1 попарно изображены подающие и возвратные трубопроводы системы холодоснабжения. Расчет выполняется для условия максимально неравномерного температурного распределения, т.е. минимальная температура хладоносителя в подающем трубопроводе и максимальная в возвратном ( $\Delta T = 3$  °C).

Используются следующие температурные графики: -15/-12 °C, -18/-15 °C, -21/-18 °C, -25/-22 °C.

Расход хладоносителя в трубной решетке  $G = 4,2$  м<sup>3</sup>/ч сохранялся постоянным.

В таблице 2 показаны параметры хладоносителя при различном межтрубном шаге.

**Таблица 2. Параметры хладоносителя при различном межтрубном шаге**

	Межтрубный шаг, мм		
	75	95	120
Количество трубопроводов, шт	13	11	9
Расход через один трубопровод, м <sup>3</sup> /ч	0,646	0,764	0,933
Скорость хладоносителя в трубопроводе, м/с	0,63	0,75	0,91
$Re$	1220	1443	1764
$Pr$	185		
$Nu$ ( $Re < 2300$ )	5,76	6,16	6,68
Коэффициент конвективной теплоотдачи хладоносителя $\alpha_k$ , Вт/м <sup>2</sup> *К	140	150	162

Граничные условия показаны в таблице 3.

Таблица 3. Граничные условия

	Конвективный теплообмен $\alpha_k$ , Вт/м <sup>2</sup> *К	Лучистый теплообмен, приведенный коэффициент излучения $c = \varepsilon \cdot A$	Плотность теплового потока (солнечная радиация и замерзание конденсата) $q_w$ , Вт/м <sup>2</sup>	Температура окружающей среды, °С
Поверхность льда	6,5	0,485	74 ÷ 107	15
Внутренние поверхности трубопроводов	140 (шаг 75 мм) 150 (шаг 95 мм) 162 (шаг 120 мм)	-	-	-15/-12 -18/-15 -21/-18 -25/-22
Поверхность теплоизоляции	13,3	0,9	-	15
Боковые поверхности	Адиабатные условия			

Плотность теплового потока при замерзании влаги вводилась в расчет после определения теплопритока за счет конвекции. Окончательное значение устанавливалось после 3й итерации.

## 6. Результаты расчета

В таблице 4 приведена температура поверхности льда в зависимости от межтрубного шага и температурного графика хладоносителя, а также плотность теплового потока для межтрубного шага 75 мм.

Таблица 4. Тепловые характеристики

Температурный график хладоносителя, °С	Межтрубный шаг, мм			Плотность теплового потока, отводимого с поверхности льда для шага 75 мм, Вт/м <sup>2</sup>	Плотность теплового потока, отводимого с поверхности теплоизоляции для шага 75 мм, Вт/м <sup>2</sup>
	75	95	120		
	Температура поверхности льда, °С			Q	q
-15/-12	0,90	2,02	2,92	219	6.5
-18/-15	-0,55	0,66	1,61	240	7.3
-21/-18	-2,01	-0,70	0,25	262	8
-25/-22	-4,1	-2,61	-1,46	276	9

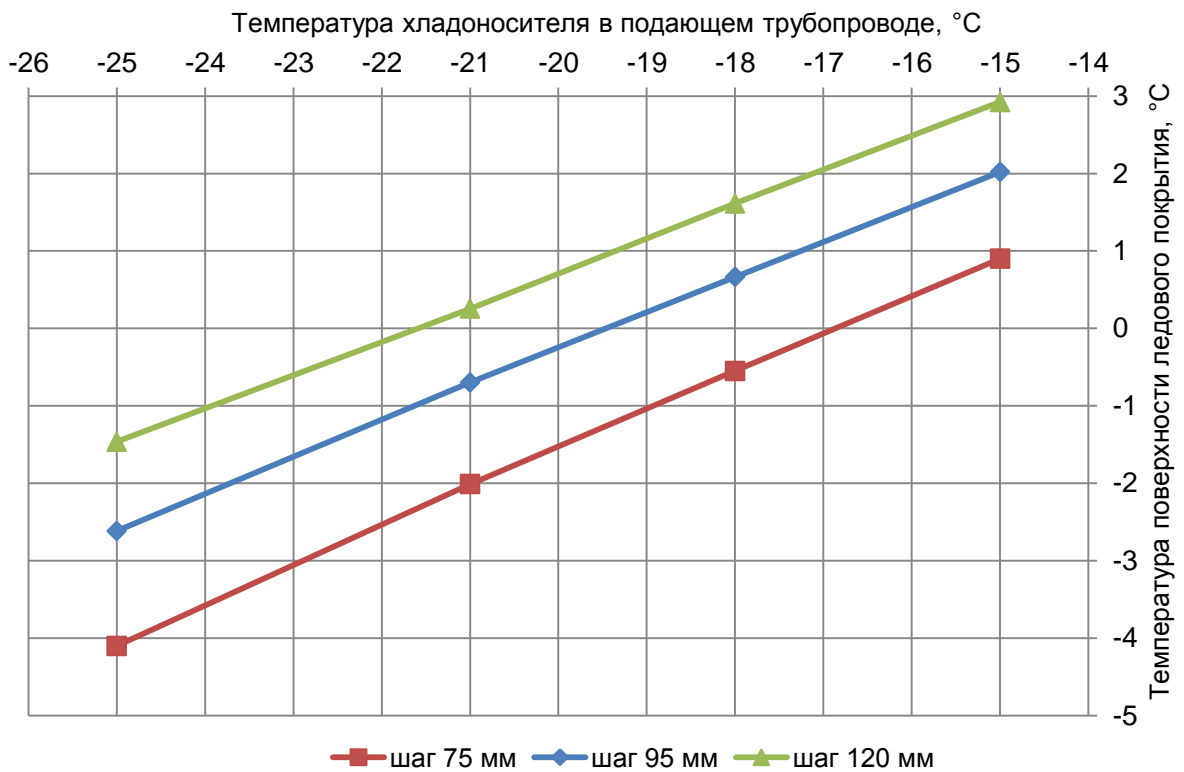


Рисунок 2. График зависимости температуры поверхности ледового покрытия от температурного графика хладоносителя

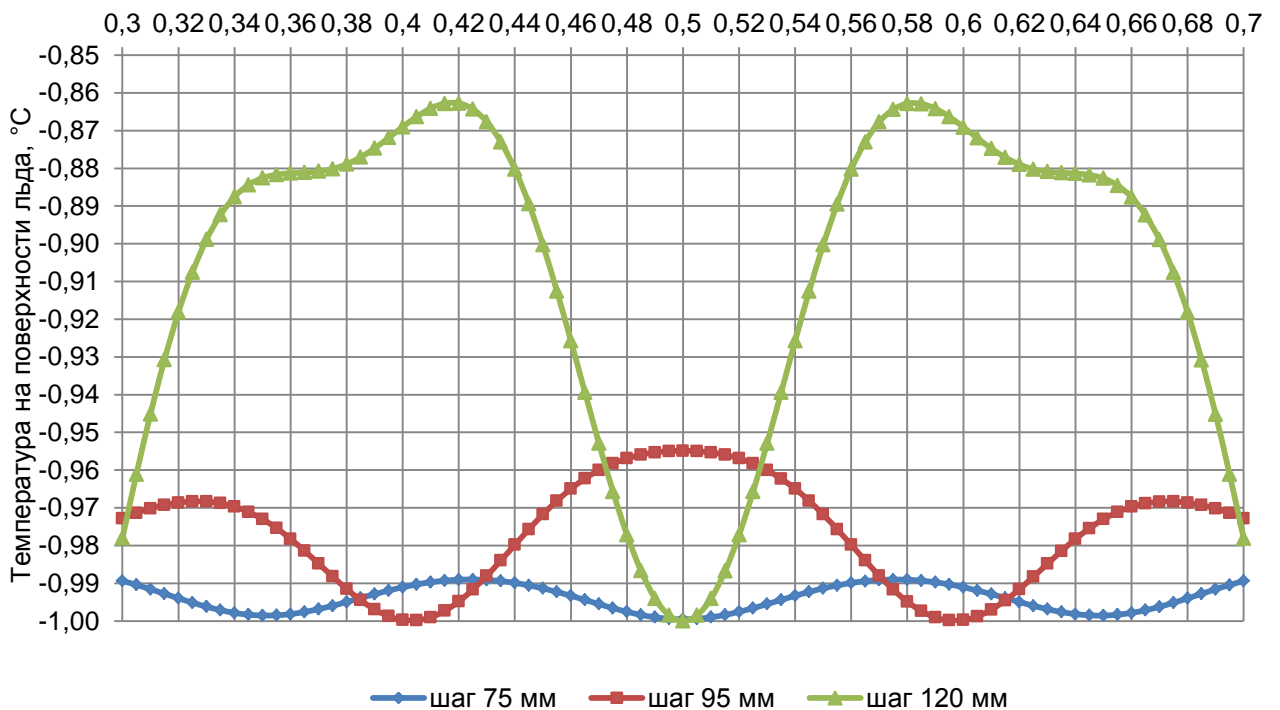


Рисунок 3. График безразмерного распределения температуры на поверхности льда при графике хладоносителя -25/-22 °C

Максимальный перепад температуры на поверхности льда: шаг 75 мм – 0,011°C; шаг 95 мм – 0,05 °C; шаг 120 мм – 0,138 °C.

## 7. Выводы

Наибольшая равномерность распределения температуры на поверхности льда достигается при минимальном шаге трубопроводов хладоносителя – 75 мм;

Для достижения температуры поверхности льда не выше  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  [21] минимальная плотность теплового потока, отводимого системой холодоснабжения, должна быть не менее  $315\text{ Вт/м}^2$  (с учетом 10% запаса на эксплуатационные потери).

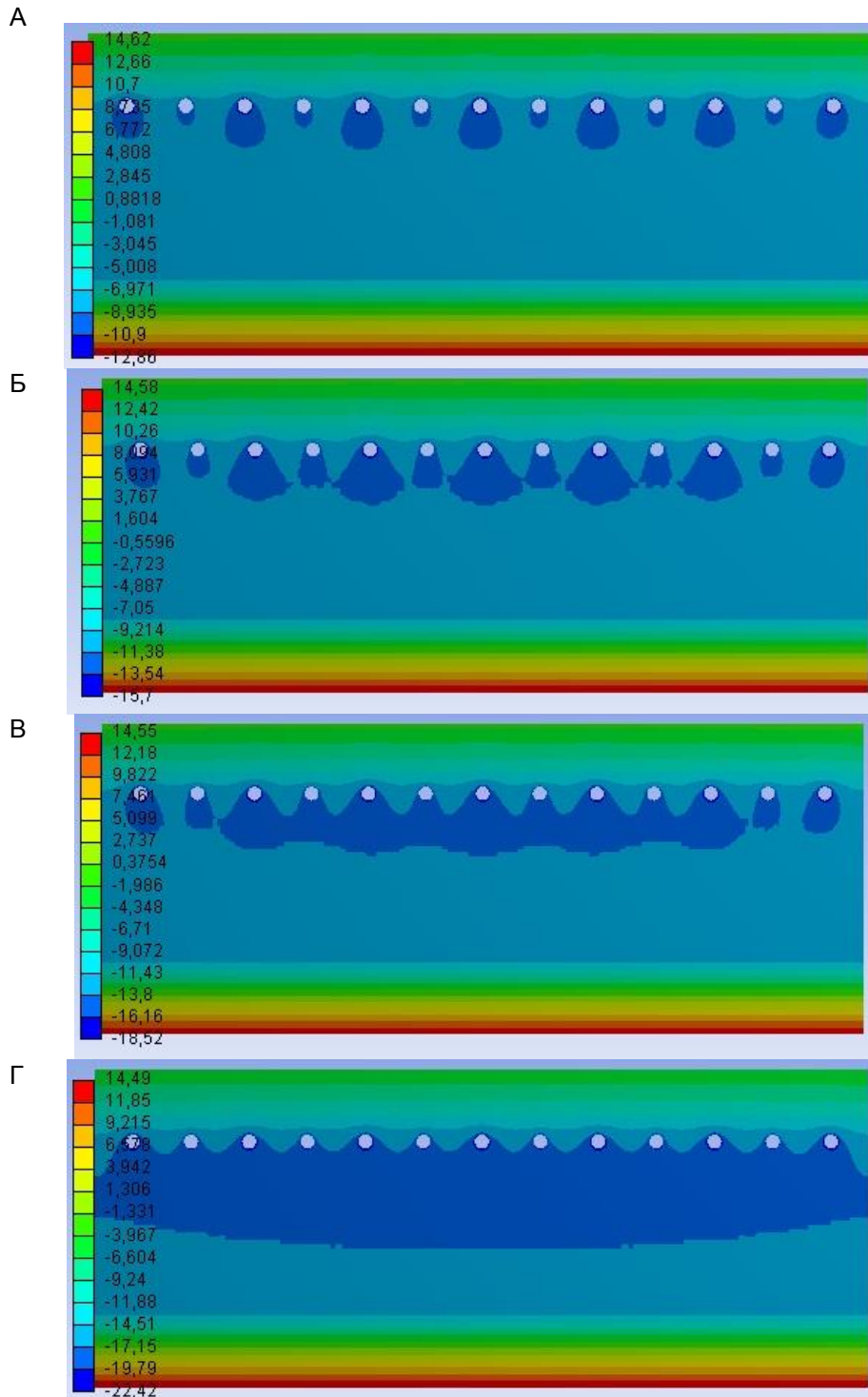


Рисунок 4. Распределение температуры на участке основания санно-бобслейной трассы. Межтрубный шаг – 75 мм. Температурный график хладоносителя: а) -15/-12 б) -18/-15 в) -21/-18 г) -25/-22

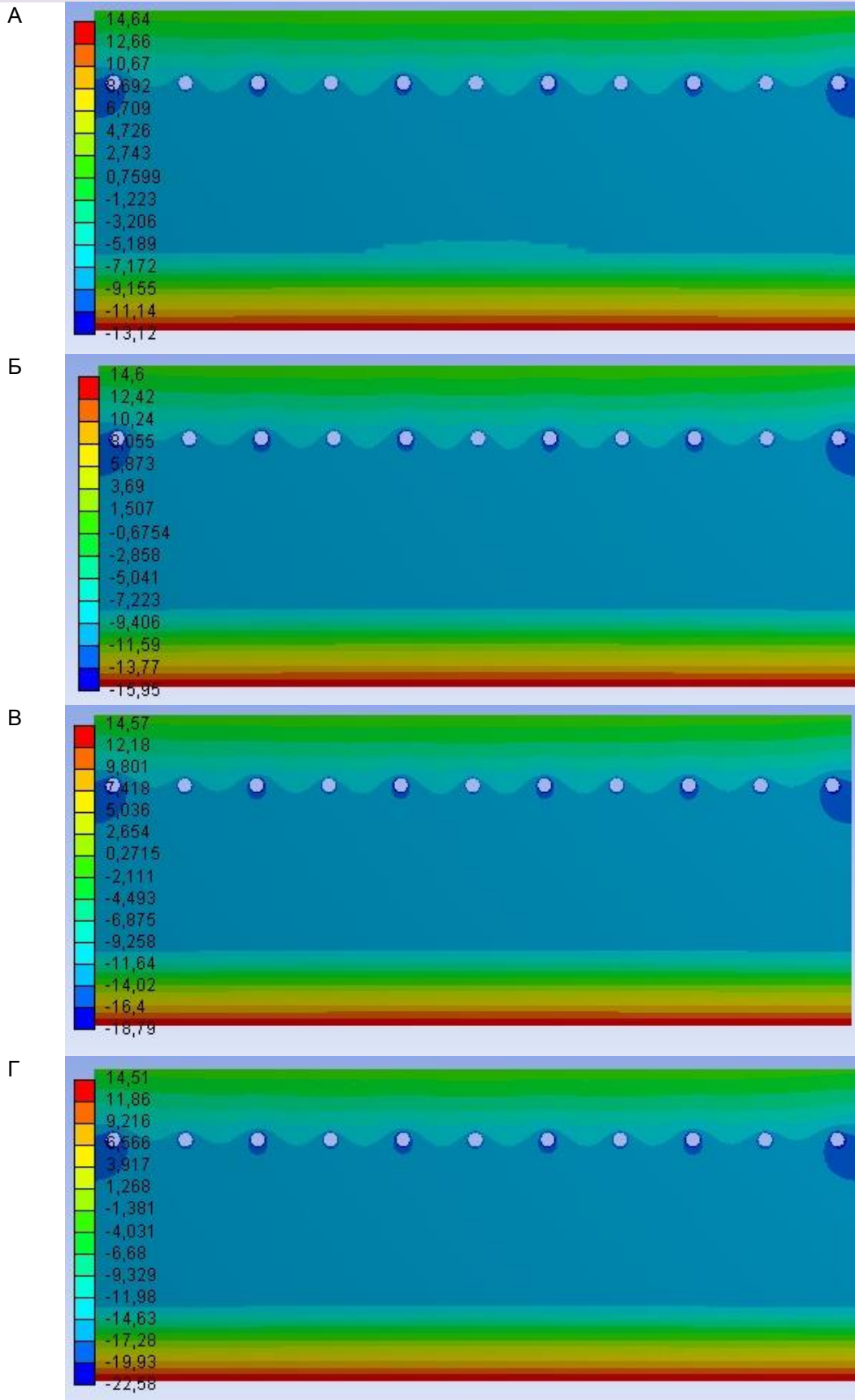


Рисунок 5. Распределение температуры на участке основания санно-бобслейной трассы. Межтрубный шаг – 95 мм. Температурный график хладоносителя: а) -15/-12 б) -18/-15 в) -21/-18 г) -25/-22



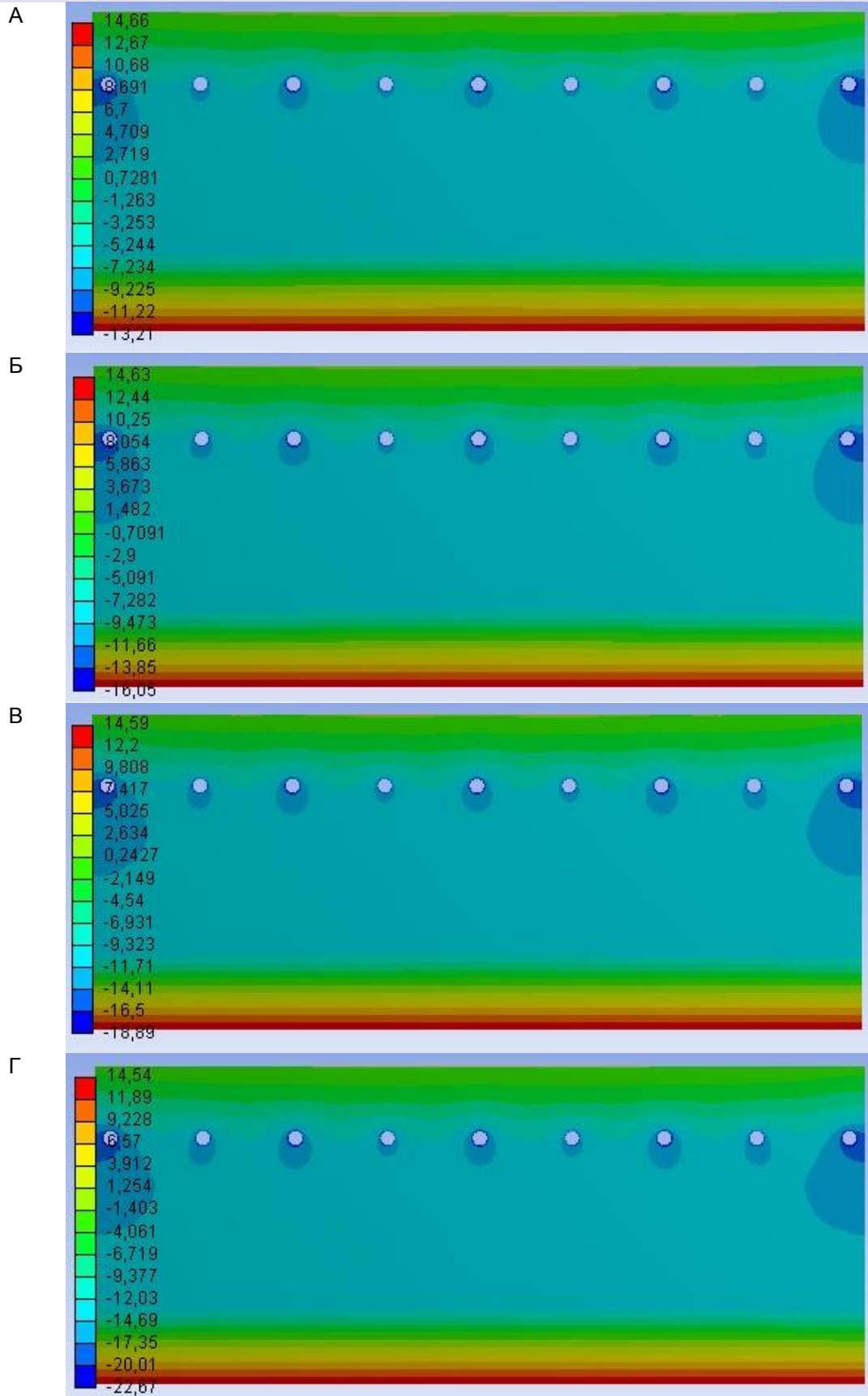


Рисунок 6. Распределение температуры на участке основания санно-бобслейной трассы. Межтрубный шаг – 120 мм. Температурный график хладоносителя: а) -15/-12 б) -18/-15 в) -21/-18 г) -25/-22

## Литература

1. Паспорт проекта Министерства физической культуры и спорта Пермского края «Строительство санно-бобслейной трассы с искусственным намораживанием льда в г.Чусовой». [Электронный ресурс]. Систем. требования: Microsoft Word. URL: [http://www.permkrai.ru/files/file/pasport\\_proekta\\_stroitelstvo\\_sanno\\_bobsleynoy\\_trassy.doc](http://www.permkrai.ru/files/file/pasport_proekta_stroitelstvo_sanno_bobsleynoy_trassy.doc) (дата обращения 01.10.13)
2. Roberts I. J. M. Skeleton bobsleigh mechanics: athlete-sled interaction. 2013. Pp.5-12
3. Lewis O. Aerodynamic analysis of a 2-man bobsleigh. 2006. Pp.8-41.
4. Yohemas L. Making a safer bobsleigh track. 2010. Pp.17-34.
5. Schulson E. M. The Structure and Mechanical Behaviour of Ice // Journal of the Minerals Metals and Materials Society. 1999. p.21
6. Sata K., Smith S. L., Sands W. A. Validation of an Accelerometer for Measuring Sport Performance // Journal of Strength and Conditioning Research. 2009. 8 p.
7. Anthropometric and Physical Abilities Profiles: US National Skeleton Team / Sands W. A., Smith S. L., Kivi D. M. R., McNeal J. R., Dorman J. C., Stone M. H., Cormie P. // Sports Biomechanics. 2005. 33 p.
8. Poirier L, Lozowski E. P., Thompson R. I. Ice Hardness in Winter Sports. Cold Regions Science and Technology. 2011. 12 p.
9. Morlock M, Zatsiorsky V. M. Factors Influencing Performance in Bobsledding: 1:Influences of the Bobsled Crew and the Environment. International Journal of Sport Biomechanics. 1989. 43 p.
10. Larman R, Turnock S, Hart J. Mechanics of the Bob Skeleton and Analysis of the Variation in Performance at the St Moritz World Championship of 2007 // The Engineering of Sport 7. 2008. 22 p.
11. Ice Friction in Speed Skating: Can Klapskates Reduce Ice Frictional Loss / Houdijk H, Wijker A J, De Koning J J, Bobbert M F, De Groot G. // Medicine and Science in Sports and Exercise. 2001. 62 p.
12. Hokkirigawa K. Tribology in Bobsleigh and Skeleton - Toward Salt Lake from Nagano // Journal of Japanese Society of Tribologists. 2002. 37 p.
13. Hainzmaier C. A. Tribologically Optimized Bobsleigh Runner // Zentralinstitut für Medizintechnik, 2005. 23 p.
14. Bowden F. P., Hughes T. P. The Mechanism of Sliding on Ice and Snow // Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences. 1939. Pp. 280-298
15. Mutli-Body Model of a Bobsleigh: Comparison with Experimental Data / Braghin F, Cheli F, Donzelli M, Melzi S, Sabbioni E. //Multibody System Dynamics. 2011. No.25(2). Pp. 185-201.
16. Brennan S M, Kollár L P, Springer G. S. Modelling the Mechanical Characteristics and On-Snow Performance of Snowboards. Sports Engineering. 2003. No.6(4). Pp. 193-206;
17. Bromley K, Factors Affecting the Performance of Skeleton Bobsleds. University of Nottingham. 1999. 67 p.
18. Brüggemann G. P., Morlock M, Zatsiorsky V. M. Analysis of the Bobsled and Men's Luge Events at the XVII Olympic Winter Games in Lillehammer // Journal of Applied Biomechanics. 1997. Pp. 98-108
19. Characteristics of the Start in Women's World Cup Skeleton / Bullock N, Martin D T, Ross A, Rosemond D, Holland T, Marino F. E. // Sports Biomechanics. 2008. No7(3). Pp. 351-360.
20. Talent Identification and Deliberate Programming in Skeleton: Ice Novice to Winter Olympian in 14 Months / Bullock N, Gulbin J P, Martin D T, Ross A, Holland T, Marino F. // Journal of Sports Sciences. 2009. No. 27(4). Pp. 397-404.
21. An Acute Bout of Whole-Body Vibration on Skeleton Start and 30 m Sprint Performance / Bullock N, Martin D T, Ross A., Rosemond D., Jordan M. J., Marino F. E. // European Journal of Sports Science. 2009. No9(1). Pp. 35-39
22. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3 многолетние данные. Части 1-6. Выпуск 9. Пермская, Свердловская, Челябинская, Курганская области, Башкирская АССР. С-П.: Гидромеоиздат. 1990 557 с.
23. СП 131.13330.2012. Строительная климатология.
24. Международная федерация бобслея и тобогана. Международные правила по бобслею 2010 г. [Электронный ресурс]. URL: [http://rusbob.ru/files/pravila\\_FIBT\\_bobslej.pdf](http://rusbob.ru/files/pravila_FIBT_bobslej.pdf) (дата обращения 01.10.2013)
25. Различные области применения холода / под ред. А. В. Быкова. – М.: Агропромиздат, 1985. 272 с.
26. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Изд. 5-е, перераб. И доп. М., Стройиздат, 2006. С. 117.

27. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий.
28. СП 31-112-2007. Физкультурно-спортивные залы. Часть 3.

## References

1. *Pasport proyekta Ministerstva fizicheskoy kultury i sporta Permskogo kraya «Stroitelstvo sanno-bobsleynoy trassy s iskusstvennym namorazhivaniyem lida v g.Chusovoy»*. [web source]. *Sistem. trebovaniya: Microsoft Word*. URL: [http://www.permkrai.ru/files/file/pasport\\_proekta\\_stroitelstvo\\_sanno\\_bobsleynoy\\_trassy.doc](http://www.permkrai.ru/files/file/pasport_proekta_stroitelstvo_sanno_bobsleynoy_trassy.doc) (date of reference 01.10.13).(rus)
2. Roberts I. J. M. Skeleton bobsleigh mechanics: athlete-sled interaction. 2013. Pp.5-12
3. Lewis O. Aerodynamic analysis of a 2-man bobsleigh. 2006. Pp.8-41.
4. Yohemas L. Making a safer bobsleigh track. 2010. Pp.17-34.
5. Schulson E M. The Structure and Mechanical Behaviour of Ice // *Journal of the Minerals Metals and Materials Society*. 1999. p.21
6. Sata K., Smith S. L., Sands W. A. Validation of an Accelerometer for Measuring Sport Performance // *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2009. 8 p.
7. Anthropometric and Physical Abilities Profiles: US National Skeleton Team / Sands W. A., Smith S. L., Kivi D. M. R., McNeal J. R., Dorman J. C., Stone M. H., Cormie P. // *Sports Biomechanics*. 2005. 33 p.
8. Poirier L, Lozowski E. P., Thompson R. I. Ice Hardness in Winter Sports. *Cold Regions Science and Technology*. 2011. 12 p.
9. Morlock M, Zatsiorsky V. M. Factors Influencing Performance in Bobsledding: 1:Influences of the Bobsled Crew and the Environment. *International Journal of Sport Biomechanics*. 1989. 43 p.
10. Larman R, Turnock S, Hart J. Mechanics of the Bob Skeleton and Analysis of the Variation in Performance at the St Moritz World Championship of 2007 // *The Engineering of Sport 7*. 2008. 22 p.
11. Ice Friction in Speed Skating: Can Klap-skates Reduce Ice Frictional Loss / Houdijk H, Wijker A J, De Koning J J, Bobbert M F, De Groot G. // *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2001. 62 p.
12. Hokkirigawa K. Tribology in Bobsleigh and Skeleton - Toward Salt Lake from Nagano // *Journal of Japanese Society of Tribologists*. 2002. 37 p.
13. Hainzmaier C. A. Tribologically Optimized Bobsleigh Runner // *Zentralinstitut für Medizintechnik*, 2005. 23 p.
14. Bowden F. P., Hughes T. P. The Mechanism of Sliding on Ice and Snow // *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*. 1939. Pp. 280-298
15. Mutli-Body Model of a Bobsleigh: Comparison with Experimental Data / Braghin F, Cheli F, Donzelli M, Melzi S, Sabbioni E. // *Multibody System Dynamics*. 2011. No.25(2). Pp. 185-201.
16. Brennan S M, Kollár L P, Springer G. S. Modelling the Mechanical Characteristics and On-Snow Performance of Snowboards. *Sports Engineering*. 2003. No.6(4). Pp. 193-206;
17. Bromley K, Factors Affecting the Performance of Skeleton Bobsleds. University of Nottingham. 1999. 67 p.
18. Brüggemann G. P., Morlock M, Zatsiorsky V. M. Analysis of the Bobsled and Men's Luge Events at the XVII Olympic Winter Games in Lillehammer // *Journal of Applied Biomechanics*. 1997. Pp. 98-108
19. Characteristics of the Start in Women's World Cup Skeleton / Bullock N, Martin D T, Ross A, Rosemond D, Holland T, Marino F. E. // *Sports Biomechanics*. 2008. No7(3). Pp. 351-360.
20. Talent Identification and Deliberate Programming in Skeleton: Ice Novice to Winter Olympian in 14 Months / Bullock N, Gulbin J P, Martin D T, Ross A, Holland T, Marino F. // *Journal of Sports Sciences*. 2009. No. 27(4). Pp. 397-404.
21. An Acute Bout of Whole-Body Vibration on Skeleton Start and 30 m Sprint Performance / Bullock N, Martin D T, Ross A., Rosemond D., Jordan M. J., Marino F. E. // *European Journal of Sports Science*. 2009. No9(1). Pp. 35-39
22. *Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3 mnogoletniye dannyye. Chasti 1-6. Vypusk 9. Permskaya, Sverdlovskaya, Chelyabinskaya, Kurganskaya oblasti, Bashkirskaya ASSR. S-P.: Gidromeoizdat. 1990 557 s.* (rus)
23. *SP 131.13330.2012. Stroitel'naya klimatologiya.* (rus)
24. *Mezhdunarodnaya federatsiya bobsleya i toboggana. Mezhdunarodnyye pravila po bobsleyu 2010 g.* [web source]. URL: [http://rusbob.ru/files/pravila\\_FIBT\\_bobslej.pdf](http://rusbob.ru/files/pravila_FIBT_bobslej.pdf) (date of reference: 01.10.2013)
25. *Razlichnyye oblasti primeneniya kholoda / pod red. A. V. Bykova. – M.: Agropromizdat, 1985. 272 s.* (rus)

26. Fokin K. F. *Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchikh chastey zdaniy. Izd. 5-ye, pererab. I dop. M., Sroyizdat, 2006. S. 117. (rus)*
27. SNiP 23-02-2003. *Teplovaya zashchita zdaniy. (rus)*
28. SP 31-112-2007. *Fizkulturno-sportivnyye zaly. Chast 3. (rus)*

## The calculation of the temperature field of the bobsleigh track plate

D. M. Shuravina<sup>5</sup>, N. S. Kharkov<sup>6</sup>, D. V. Nemova<sup>7</sup>, D. N. Tseytin<sup>8</sup>,

*Saint-Petersburg State Polytechnical University, 29 Polytechnicheskaya st., St. Petersburg, 195251, Russia.*

### ARTICLE INFO

### Article history

### Keywords

Received 10 November 2013  
Received in revised form 30 November  
2013  
Accepted 30 November 2013

refrigeration;  
bobsleigh track;  
temperature field;  
ethylene glycol;  
ice cover.

### ABSTRACT

The calculation of the bobsleigh track plate's temperature field is presented in this article. As a coolant authors use 50% ethylene glycol (there are no tracks with such type of coolant in Russia). External conditions were accepted according to climatic parameters of Perm in September. The influence of the distance between pipes with cooling agent and its temperature on the temperature distribution of the ice cover was considered. Practical recommendations about the organization of pipe system of cold supply were made. The minimum value of density of the thermal stream (for ensuring ice temperature - 4 °C) which was taken away from a surface of the track was calculated.

5

*Corresponding author:*

+7 (950) 035 1813; shdaria@list.ru (Darya Mikhailovna Shuravina, Graduate Student)

6

+7 (906) 255 0243; nkharkov@mail.ru (Nikita Sergeevich Kharkov, Ph. D., Associate Professor)

7

+7 (921) 890 0267; darya.nemova@gmail.com (Darya Viktorovna Nemova, Engineer)

8

+7 (921) 909 5171; dm.inco@gmail.com (Dmitry Nikolayevich Tseytin, Chief Engineer)