

УДК 662

Е.В.Гордиенко (6 курс, каф. МВТС, СПбГПУ),
К.В.Хойланд, д.т.н., проф. (UNIS, Норвегия), К.Н.Шхинек, д.ф.-м.н., проф. (СПбГПУ)

ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ КОНСОЛИДИРОВАННОГО СЛОЯ В ИСКУССТВЕННОМ ОДНОЛЕТНЕМ ТОРОСЕ

При формировании ледяного покрова возможны различные типы торошения, причинами которого являются ветровые, гидрологические или термические силы, или их комбинации. Сила сжатия может достигать критического предела, когда деформируемый ледяной покров в некоторых ослабленных местах начинает терять устойчивость – первый тип. При этом происходит взлом ледяного поля с образованием торосов взлома.

Второй тип торошения определяется характером взаимодействия льдин и ледяных полей, имеющих различные векторы скоростей, друг с другом. В месте контакта могут наблюдаться как сжимающие, так и сдвиговые нагрузки, которые приводят к дроблению льдин и ледяных полей, а также нагромождению ледяных обломков друг на друга, в результате чего образуются торосы раздробления.

Как правило, торос от ватерлинии условно разбивается на две части: парус – верхнюю часть и киль – нижнюю часть. Если торос незначителен по размерам и подвергается длительное время воздействию отрицательных температур, то образующийся в районе ватерлинии лед связывает обломки тороса между собой. Этому процессу способствует также наличие мелких обломков льда и шуги, которые в процессе образования тороса, под действием сил тяжести и выталкивающего действия воды, концентрируются в районе ватерлинии. В результате этого в районе ватерлинии образуется так называемый консолидированный слой.

В настоящее время нет единой общепризнанной методики для определения толщины консолидированного слоя, что может быть объяснено следующими факторами: во-первых, выделение консолидированного слоя из единого целого носит субъективный характер, во-вторых, этот слой имеет толщину, значительно меняющуюся по площади тороса.

В течение второй декады марта 2002 года совместной группой исследователей из НТНУ (Норвежский Университет Науки и Техники), ЮНИС (Университетские Курсы, Свальбард), СПбГПУ и СНСГ (Норвежская Угольно-добывающая Компания, Шпицберген) в Норвегии, на Шпицбергене, в заливе Ван-Миен был создан искусственный торос из морского льда. Одной из целей этого эксперимента было изучение образования и определение нарастания толщины консолидированного слоя в однолетних торосах. В связи с развитием газодобывающих и нефтедобывающих как российских, так и иностранных компаний в морях Северно-Ледовитого океана подобные исследования очень важны для обоснованного проектирования инженерных сооружений шельфа в современных методах расчета нагрузок от торосов.

В данной работе представлены два метода определения толщины консолидированного слоя: путём бурения и путём измерения температуры по всей глубине искусственного тороса.

1. *Бурение.* В течение процесса консолидации искусственного тороса трижды были взяты образцы кернов. Четвертого апреля 2002 года длина керна составила 80 см, а восемнадцатого апреля были взяты два керна, длина которых была 100 и 110 см. Учитывая, что высота паруса тороса была 15 см, то можно сделать вывод, что в течение двух недель толщина консолидированного слоя тороса увеличилась от 65 см до 85...95 см.

Метод бурения является неточным способом определения толщины консолидированного слоя тороса, так как не всегда удаётся получить весь керн и без повреждений из-за морфологических особенностей торосов.

2. *Температурные измерения.* После образования тороса в нём были установлены два термистра, которые позволяли считывать температурные данные с заданным промежутком времени в шестнадцати точках по всей глубине тороса с шагом 200 мм. Температура была записана при помощи записывающих устройств, которые находились на поверхности льда. В течение первых 34 часов она была записана каждые 5 минут, а в последующий месяц — каждый час.

Принцип определения толщины консолидированного слоя данным методом основан на термодинамических свойствах льда. Температура замерзания морской воды в заливе Ван-Миен равна $-1,9^{\circ}\text{C}$. Эта температура и являлась критической для определения границы лёд-вода, а при известном шаге между точками измерений определение толщины консолидированного слоя по длине термиста было возможным.

На основании данных по двум отдельным термистам был получен график изменения толщины консолидированного слоя для данного тороса в течение процесса консолидации, который представлен на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что с момента образования тороса толщина консолидированного слоя увеличилась от 30 см до 87 см. Если сравнивать данные двух разных методов измерений от четвертого апреля, то разница в толщине слоя составила 13%. Это вполне приемлемо, но ещё раз показывает, что толщина консолидированного слоя не является постоянной величиной для определённого тороса.

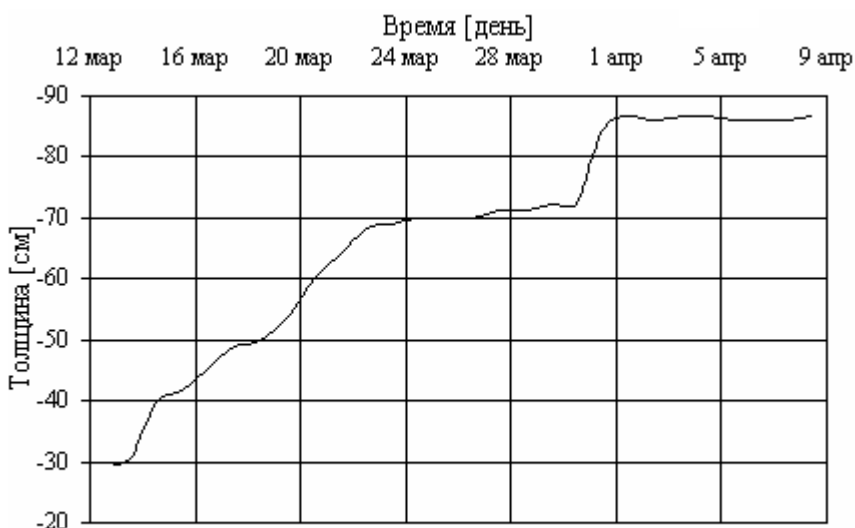


Рис. 1. Изменение толщины консолидированного слоя в торосе

Заметна различная скорость нарастания толщины консолидированного слоя в торосе. В периоды между 23 и 30 марта, а также между 1 апреля и до конца измерений температура воздуха была около 0°C , поэтому толщина консолидированного слоя изменялась лишь на пару сантиметров. Когда же были большие отрицательные температуры воздуха, толщина консолидированного слоя возрастала до 10 сантиметров в день. Это показывает, что равновесие между большими отрицательными температурами окружающего воздуха и температурой морской воды, которая составляет $-1,8...-1,9^{\circ}\text{C}$, устанавливалось путём образования льда в консолидированном слое тороса.

Температурный метод предполагает наибольшие материальные затраты, но обеспечивает получение более точных результатов с несложной организацией процесса измерений.

E.V.Gordienko (SPbSPU),
K.V.Hoyland, prof. (UNIS), K.N.Shkhinek, prof. (SPbSPU)

TEMPERATURE MEASUREMENTS IN ARTIFICIAL SEA ICE RIDGE

By a joint group of people from UNIS (the University Courses on Svalbard), NTNU (Norwegian University of Science and Technology), SPbSPU (St. Petersburg State Polytechnic University) and SNSG (The Store Norske Spitsbergen Kulkompani) an artificial sea ice ridge was created in Van-Mijen fjord in Svalbard, Norway starting from 11 of March 2002. The environmental conditions were for that time: temperature -20°C , without wind and snow. The following technique was done for production the sea ice ridge:

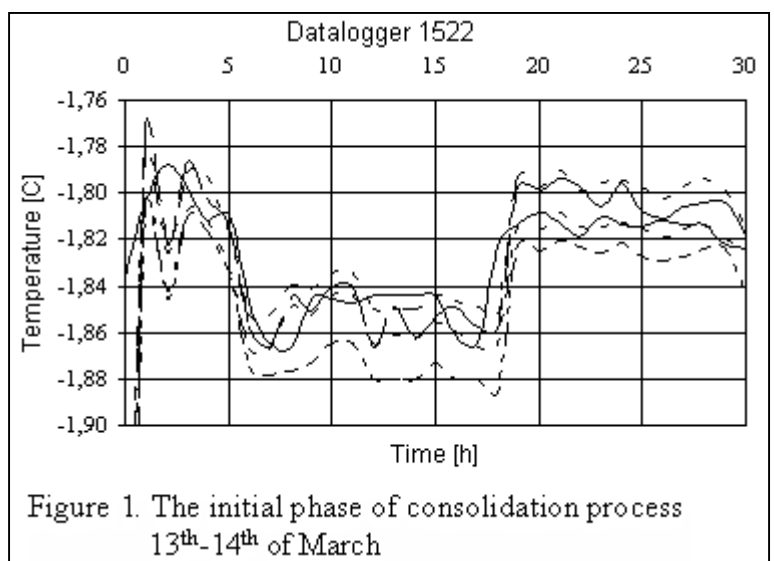
1. In the beginning the level ice was cut by chain saw on blocks with volume approximately 1m^3 . Excavator put these blocks on the surface of level ice. The polinya approximately 4×4 meters was opened in the level ice.
2. The net was fixed in that polinya in order to create truncated pyramid shape of the rubble.
3. Than the smaller ice blocks were cut on distances of 20, 15 and 10 centimetres from the bottom of bigger blocks of the level ice. The length of blocks was approximately half a meter and width ice in the range of 20...30 centimetres. A lot of these ice blocks were used for creating the artificial sea ridge. The geometrical dimensions of the ice ridge were in horizontal plane 4×4 meters, in vertical cross section 1.5 meter depth of the keel and 15 centimetres high of the sail.
4. Two single thermistor-strings with 16 nodes and a vertical distance of 200 millimetres between the nodes were placed into the artificial sea ice ridge immediately after it was made in order to measure the temperature development in the ridge during the initial part of the consolidation processes. The temperature was logged automatically by dataloggers.

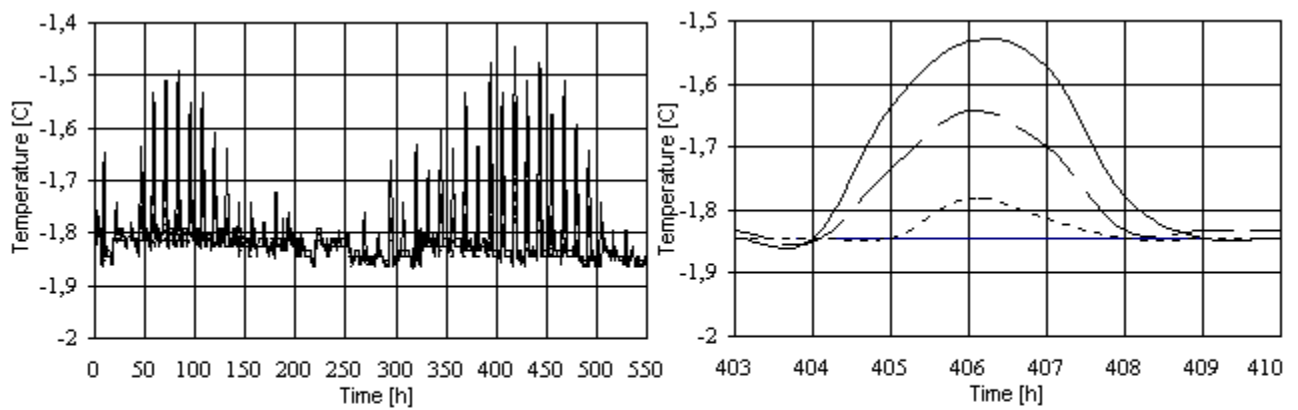
During the first 34 hours the temperatures development in sea ice ridge were logged every 5 minutes and then within 1 month – every hour.

When the cold temperature from surrounding air penetrated into the sea ice ridge, the seawater between ice blocks froze and it was shown by decreasing the temperature data for notes in the middle of thermistor-strings during the second part of measurements. The seawater closed to boundary of consolidation layer froze change into the sea ice.

During some period between 5 and 17 hours of measurements the temperature decreased and then increased again. It is shown in Figure 1 for one thermistor-string.

Probably, the reason of this drop in temperature measurements can be the in cooling of surrounding relatively warm water from the cold sea ice pieces, which were submerged. Subsequent increasing in temperature can be explained by getting heat flux from ocean (oceanic heat flux) by convection process.





a. The peaks in temperature for full period b. One peak with 6 hours duration

Figure 2. The peaks of temperature data for datalogger 1522

In Figure 2 the peaks in temperature development for two lowest notes on thermistor-string during two periods: 15th-19th of March and from 26th of March to 4th of April are shown. The duration of each peak of temperature is approximately 6 hours that equal to duration of high and low tide. The highest temperature of peaks equals to the lowest level of seawater. As the lowest notes on thermistor-string were close to the seabed apparently this phenomenon is linked with action of high and low tides.

Temperature data registered by both of dataloggers are plotted in the Figure 3. Surrounding air temperature changed from -21°C to +4°C, also the temperature changed in sail and consolidation layer of the artificial sea ice ridge; the temperature of seawater was constant around -1.8°C. The growing of consolidated layer of ice ridge is also better to see on the Figure 3, where the temperature dependence on depth is shown. The thickness of consolidation layer increased to 90 centimetres.

The temperature in the sail of the ice ridge was very influence from the surrounding air temperature, which was cold. The temperature gradient is quite high, that probably can be explained by establishment of equilibrium between two heat transfers: the first one is the cold air and second is heat flux from the ocean.

So using the automatically measurements of temperature in the artificial sea ice ridge it is possible to recognise the thermodynamical processes, which can occur during the consolidation of sea ice ridge. Also it is possible to see how the depth of consolidated layer in sea ice ridge grows, that is very important for estimation the loads from sea ice ridges on offshore constructions, when the development of gas and oil production is very great and important.

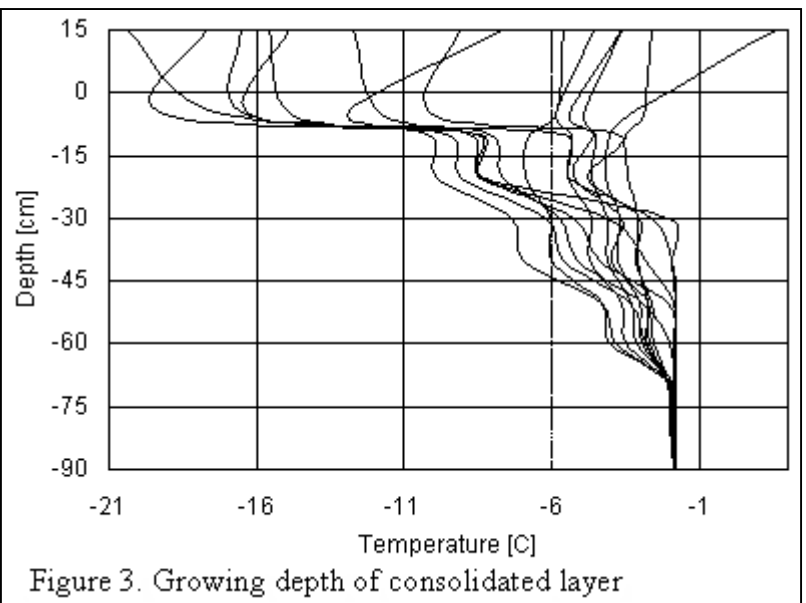


Figure 3. Growing depth of consolidated layer