

В.И. КОМАРОВ

Проектно-исследовательская
фирма «Холод»

Прогноз морозного пучения полов и зданий холодильников

Низкотемпературные холодильники на морозоопасных пучинистых грунтах необходимо строить таким образом, чтобы не допустить их промораживания.

Вместе с тем в России около 20 лет назад впервые было предложено при проектировании одноэтажных холодильников учитывать возможность промораживания грунта под ними в процессе эксплуатации [2]. Накопленный опыт эксплуатации холодильников показывает, что вызванное промораживанием грунта незначительное морозное пучение полов и самих зданий вполне допустимо [1].

При строительстве холодильников с учетом промораживания грунтов возможны два случая: первый — когда пучению подвергаются только полы, и второй — когда пучению подвергается все здание. В первом случае относительный выгиб пола (в долях от ширины здания) принимают равным 0,003, во втором 0,0015.

По мере накопления опыта в перспективе допустимый относительный выгиб можно будет увеличить.

Основным препятствием к внедрению строительства с учетом промораживания грунта было отсутствие инженерной методики определения пучения полов и зданий холодильников. Трудность создания такой методики объясняется причинами, изложенными далее.

При замораживании в процессе эксплуатации пучинистые грунты в основании холодильников увеличиваются в объеме. В общем случае давление внутри грунтов может распространяться и в вертикальном, и в горизонтальном направлениях. Увеличение объема в горизонтальном направлении наибольшее у сла-

бых по несущей способности грунтов, характеризующихся значительной сжимаемостью. К таким грунтам относятся илы, заторфованные грунты и др.

Если же прочность пучинистого грунта высокая, то при возрастании в горизонтальном направлении объема его промораживания он встретит большое реактивное давление талых грунтов и пучение будет осуществляться по линии наименьшего сопротивления, т.е. вверх. Наблюдения за замороженными основаниями ряда холодильников не показали заметного смещения строительных конструкций в горизонтальном направлении (это было бы заметно, например, по отклонению от вертикали крайних рядов колонн здания).

Нельзя не затронуть вопроса о консолидации талых грунтов, находящихся под давлением промерзающих слоев. При промораживании пучинистых грунтов происходит перераспределение влаги. Давление вышележащих слоев передается на нижележащие, причем оно воздействует и на содержащуюся в порах грунта воду, заставляя ее перемещаться, и на скелет грунта.

Необходимо выяснить, не вызывает ли уменьшение влажности талого грунта, находящегося под чашей промерзания, уплотнения минеральных частиц и, как следствие, его осадки.

Если вода в порах грунта находится в парообразном состоянии, то перемещение ее при промерзании вряд ли вызовет осадку. Полное «иссушение» такого грунта маловероятно. Что касается грунта, в порах которого вода находится в жидкой фазе, то эта вода, как правило, гидравлически связана с водами близлежащих аналогичных грун-

For the first time in world practice a method of prediction of the value of frost heave of floors and cold store buildings that are built on frost-dangerous heaving grounds being frozen during cold store operation has been developed. A method of studying of ground samples is presented. Examples of establishing of the amount of heaving on the basis of these studies are considered.

тов. Поскольку площадь холодильника относительно мала в окружающей местности, вода при промерзании компенсируется притоком ее со стороны.

Грунты в природном состоянии, находящиеся на больших глубинах, оказывают давлению значительное сопротивление, поэтому если и возможны деформации от уплотнения талых грунтов, отдавших при промерзании часть содержащейся в них воды, то их значения ничтожны и при оценке пучения ими можно пренебречь.

При строительстве холодильников, грунты основания которых в процессе эксплуатации могут быть проморожены, положение уровня грунтовых вод следует принимать с учетом прогноза его колебания, возможности формирования нового положения вследствие подтопления или дренирования территории.

Прогноз морозного пучения полов и зданий холодильников включает два этапа: первый — определение температурного поля в основании холодильника, второй — расчет непосредственно величины пучения.

Определение температурного поля представляет собой сложную задачу математической физики. На температурное поле влияют многие факторы: размеры холодильника в плане; термическое сопротивление пола; тепловой режим камер; физико-механические и теплофизические свойства грунта в талом и мерзлом состоянии; температура талого грунта, наличие грунтовой воды, скорость ее перемещения и химический

состав; время, прошедшее с начала эксплуатации сооружения, и т. д. В зависимости от соотношения этих факторов глубина промерзания грунтов под сооружением будет изменяться в широких пределах. Расчет усложняется необходимостью учета выделения скрытой теплоты замерзания поровой воды на границе талой и мерзлой зон толщ грунтов, а также массопереноса поровой воды из нижних слоев к границе замерзания.

Температурные поля в основаниях холодильников определяют при решении одномерных, осесимметричных двумерных и трехмерных задач.

Стационарное температурное поле (температура в камерах постоянна) соответствует моменту полного формирования чаши промерзания и достижения стабилизированного положения изотерм.

Такое температурное поле в основании крупных низкотемпературных холодильников с постоянной температурой внутри камер формируется через несколько десятков лет эксплуатации, причем глубина промерзания грунтов может достигать 30 м.

В случае нестационарного температурного поля задача значительно усложняется (в данной статье она не рассматривается).

Расчет величины пучения $H_{\text{пуч}}$ (см) в каком-либо сечении основания здания осуществляется по формуле

$$H_{\text{пуч}} = \sum_{i=1}^n \delta_{\text{пуч}i} h_i m_i,$$

где $\delta_{\text{пуч}i}$ — относительная пучинистость слоя грунта в се-

величине рассматриваемой i -й температурной зоны (если в температурной зоне расположено несколько видов пучинистых слоев грунта, то относительную пучинистость определяют для каждого вида грунта);

h_i — толщина слоя грунта i -й температурной зоны, см;

n — число температурных зон;

m — коэффициент условий работы (1,05 для илов, заторфованных грунтов и 1 для остальных видов грунтов).

Относительная пучинистость грунта

$$\delta_{\text{пуч}} = (h_{\text{пуч}} - h_0) / h_0,$$

где $h_{\text{пуч}}$ — толщина замороженной части образца грунта ненарушенной структуры, природной влажности и плотности, обжатого без возможности бокового расширения давлением p , равным давлению, действующему на рассматриваемой глубине, от собственной массы и нагрузки от фундамента, замороженного при температуре, соответствующей той же глубине;

h_0 — толщина той же части образца грунта в талом состоянии, ненарушенной структуры, природной влажности и плотности, обжатого без возможности бокового расширения давлением p , равным давлению, действующему на рассматриваемой глубине, от собственной массы и нагрузки от фундамента.

Рассмотрим два примера.

Надо найти величину пучения пола в середине здания холодильника по сечению А-А (рис. 1). Здание холодильника одноэтажное однопролетное (с большим пролетом). Температурное поле основания стационарное. Чаша промерзания грунта полностью сформировалась и достигла своего стабилизированного состояния.

В обоих примерах одинаковыми считаем следующие условия:

- > температурное поле имеет вид, показанный на рис. 1;
- > уровень грунтовых вод находится на глубине 16 м от

уровня чистого пола холодильника;

- > положение уровня грунтовых вод не изменится;
- > температура грунтов основания холодильника равна 4°C .

В первом примере примем, что грунт в основании холодильника сложен из одного пучинистого пласта, а во втором — из нескольких пластов различного вида, причем пучинистыми из них являются 2, 4 и 5-й, непучинистыми — 1-й и 3-й.

Относительная пучинистость грунта в обоих примерах определена лабораторным путем. Расчет $H_{\text{пуч}}$ в первом примере сведен в табл. 1, а во втором примере — в табл. 2.

В первом примере, при однородном грунте в основании холодильника, пучение пола наибольшее в середине сечения А-А здания холодильника (см. рис. 1). У наружной стены в летнее время пучения пола наблюдаться не будет.

Пучение пола характеризуется плавной кривой линией (рис. 2).

Существует строго определенная связь между кривыми линиями промерзания и пучения. В каждый промежуток времени в каком-либо рассматриваемом сечении, конкретной глубине промерзания грунта основания соответствует своя величина пучения пола. Кривая пучения пола полностью сформируется после достижения стабилизированного состояния чаши промерзания грунта основания холодильника.

Не все пучинистые грунты, расположенные между полом и нулевой изотермой в температурном поле низкотемпературного холодильника, будут находиться в замороженном состоянии. На замораживание грунтов влияют практически все те же факторы, которые определяют и само температурное поле.

Из этих факторов рассмотрим только вид грунтов в основании холодильника и глубины их залегания.

Температура замерзания

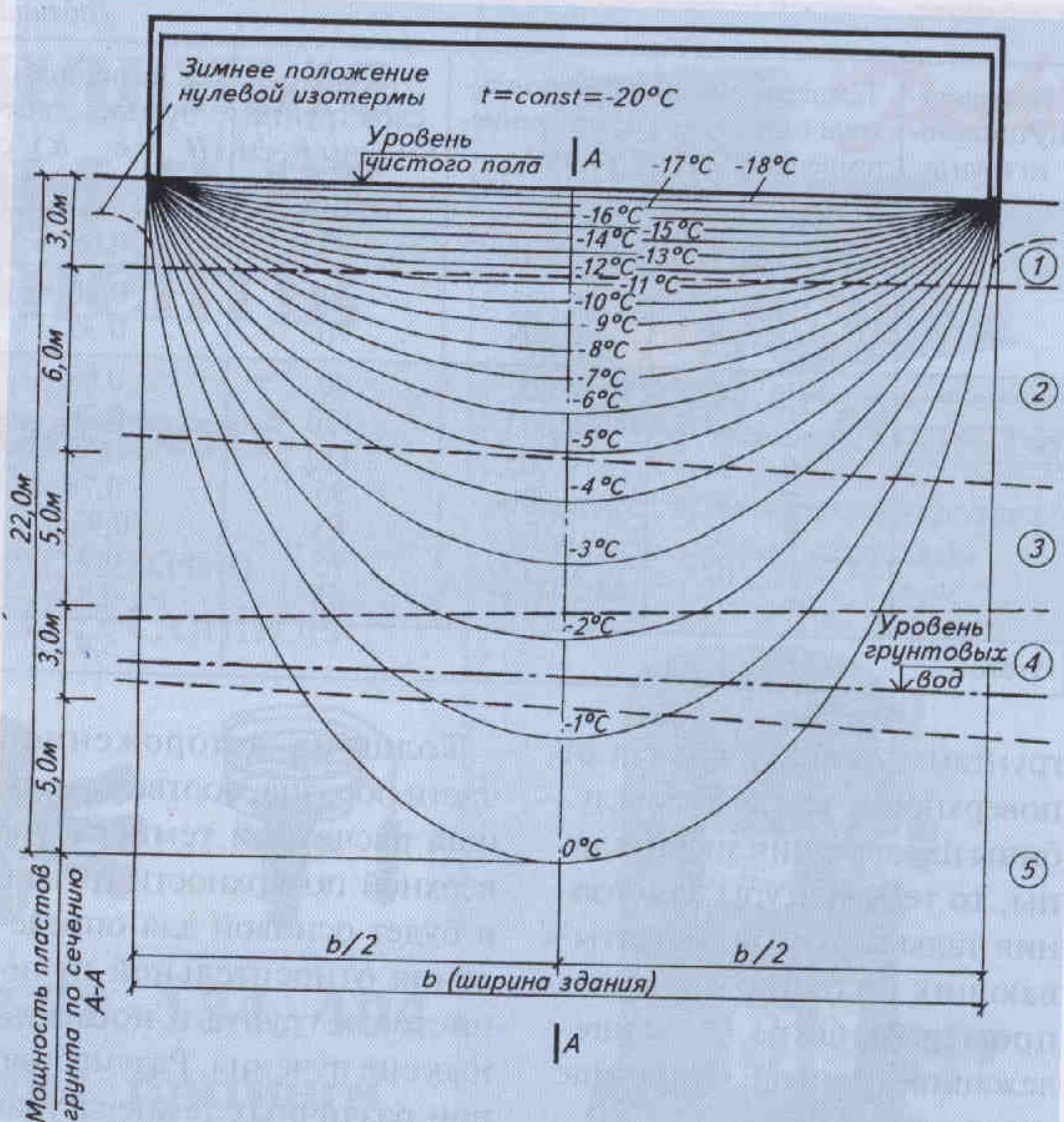


Рис. 1. Стационарное температурное поле в основании холодильника: цифрами в кружках обозначены номера пластов грунта, пунктирными линиями показаны их границы: 1—5 — номера пластов грунта; — — — границы пластов

Таблица 1

Температурная зона (диапазон температур), $^\circ\text{C}$	Относительная пучинистость $\delta_{\text{пуч } i}$	Толщина слоя грунта i -й зоны h_i , см	Величина пучения зоны ($H_{\text{пуч } i} = \delta_{\text{пуч } i} h_i$), см
0...-1	0	410	—
-1...-2	0	320	—
-2...-3	0	250	—
-3...-4	0,010	200	2,0
-4...-5	0,011	160	1,76
-5...-6	0,013	130	1,69
-6...-7	0,015	110	1,65
-7...-8	0,016	95	1,52
-8...-9	0,018	85	1,53
-9...-10	0,020	75	1,50
-10...-11	0,023	65	1,495
-11...-12	0,025	55	1,375
-12...-13	0,028	50	1,40
-13...-14	0,030	45	1,35
-14...-15	0,032	40	1,28
-15...-16	0,035	35	1,225
-16...-17	0,037	30	1,11
-17...-18	0,038	25	0,95
-18 (отметка пола)	0,040	20	0,80
Итого		2200	22,64

различных грунтов (точнее, температура первого главного периода их замерзания), имеющих определенные физико-химические и физико-механические свойства (природная уплотненность, влажность, консистенция и пр.), следующая: для водонасыщенных

песчаных, текучих и текуче-пластичных глинистых грунтов она близка к 0°C ; для пластичных глинистых грунтов в зависимости от их уплотненности она изменяется в среднем от $-0,1$ до $-1,2^\circ\text{C}$, для полутвердых глин — от -2 до -5°C [4]. Эти данные относятся к

Таблица 2

№ пласта пучинистого грунта	Температурная зона (диапазон температур), °C	Относительная пучинистость $\delta_{пуч}$	Толщина слоя грунта i -й зоны h_i , см	Величина пучения зоны ($H_{пуч} = \delta_{пуч} h_i$), см
5	0...-1 -1...-1,4	— 0,001	410 90	— 0,09
4	-1,4...-2 -2...-2,3	0,002 0,005	230 70	0,46 0,35
2	-4,8...-5	0,002	40	0,08
	-5...-6	0,003	130	0,39
	-6...-7	0,005	110	0,55
	-7...-8	0,008	95	0,76
	-8...-9	0,011	85	0,935
	-9...-10	0,012	75	0,90
	-10...-11	0,014	65	0,91
Итого				5,43

грунтам, лежащим вблизи от поверхности земли. Если глубины их залегания значительны, то температуры замерзания талых грунтов, испытывающих большие давления промерзающих выше лежащих грунтов, будут еще ниже.

Относительную пучинистость грунтов определяют методом моделирования. В качестве модели используют образцы ненарушенной структуры, природной влажности и плотности. Образцы помещают в холодильную камеру и замораживают сверху вниз [3], что соответствует поведению основания холодильника в эксплуатации. Снизу и с боков образец закрывают теплоизоляционным кожухом. Толщину образца принимают с таким расчетом, чтобы после его промораживания внизу оставалась часть незамерзающего грунта. Это необходимо для того, чтобы поровая вода при промерзании образца могла перераспределиться. Вообще, чем больше толщина нижней части талого грунта в замороженном образце, тем точнее можно определить относительную пучинистость грунта.

Диапазон замораживания грунтов в основаниях холодильников колеблется в широких пределах — от 0 до -40 °C. В зависимости от конкретной температуры замораживания в образце возникнет соответствующее ей температурное поле, а грунт промерзнет на определенную глубину.

Толщина замороженной части образца, соответствующая расчетной температуре верхней поверхности грунта, и будет основой для определения относительной пучинистости грунта и нормальных сил пучения. Разумеется, при различных температурах замораживания образцов одного и того же вида грунта эта толщина будет неодинаковой.

Подход к инженерно-геологическим изысканиям при строительстве низкотемпературных холодильников с учетом их промораживания различается в зависимости от того, деформирование чего предусматривается — только полов или всего здания.

В первом случае, когда деформированию подвергаются только полы здания, образцы природной влажности и плотности замораживают без подтока воды снизу. Ошибка в прогнозе морозного пучения в сторону увеличения здесь не столь существенна, поскольку если она все же случится, то это приведет только к лишнему ремонту полов.

Во втором случае, когда деформированию подвергается все здание, ошибка в прогнозировании чревата тяжелыми последствиями. Рисковать прочностью и устойчивостью здания холодильника недопустимо. Поэтому прогноз должен быть выполнен особо тщательно. Образцы грунта в данном случае следует отбирать по глубине скважин не реже

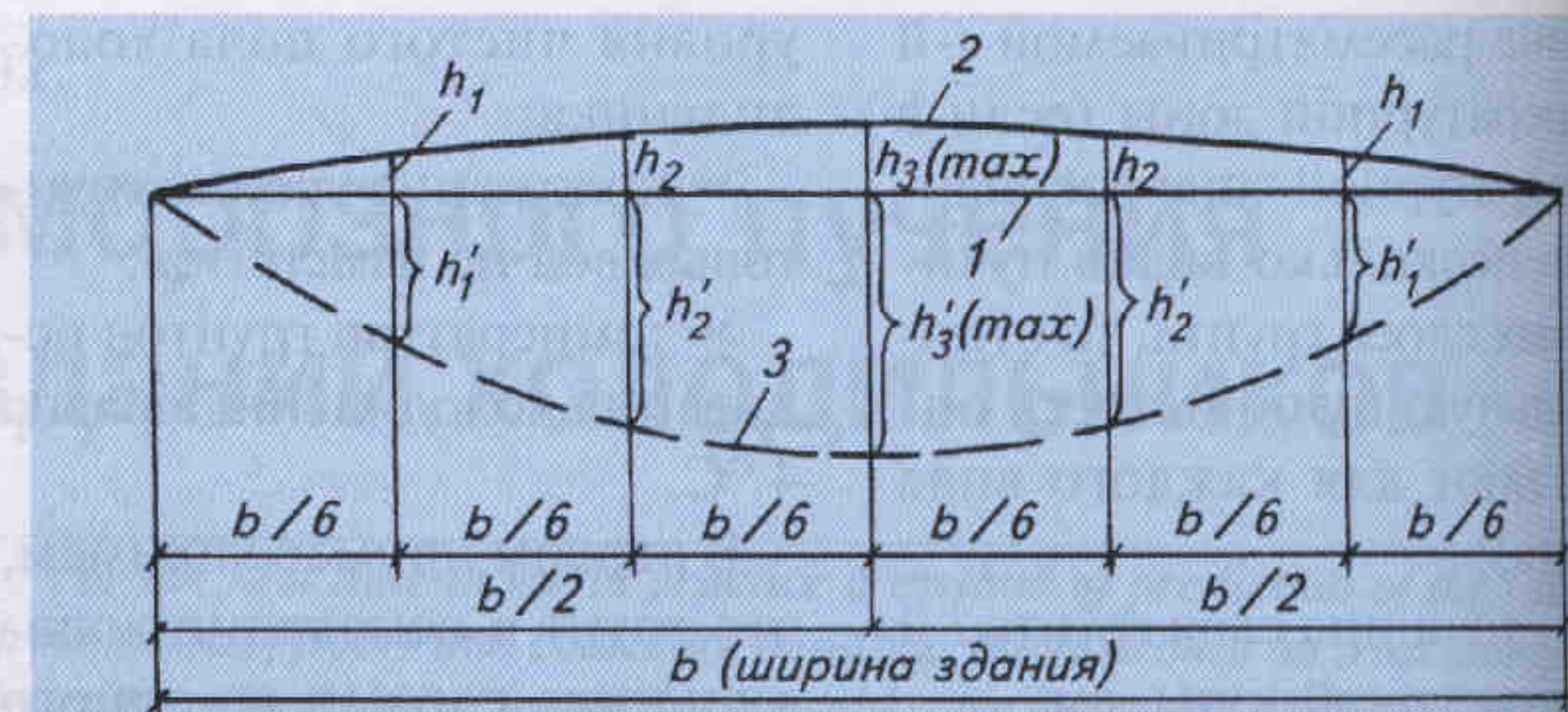


Рис. 2. Схема линий пучения пола и промерзания однородного равномерно увлажненного грунта в основании холодильника при одинаковой отрицательной температуре по ширине здания: 1 — линия пола до промерзания; 2 — линия пучения пола; 3 — линия промерзания грунта

чем через 1 м и перед лабораторным замораживанием увлажнять до полного их водонасыщения с подтоком воды к низу образцов, тем самым заранее учитывая возможное обводнение площадки во время строительства и эксплуатации холодильника.

Если же такого обводнения не произойдет, то учет спрогнозированного дополнительного пучения здания только увеличит запас его прочности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комаров В. И. Пути удешевления стоимости строительства холодильников на морозоопасных пучинистых грунтах // Холодильная техника. 1998. № 10.
2. Пчелинцев А. М., Комаров В. И. Строительство холодильников на пучинистых грунтах // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1980. № 5.
3. Орлов В. О., Дубнов Ю. Д., Меренков Н. Д. Пучение промерзающих грунтов и их влияние на фундаменты сооружений. — Л.: Стройиздат, 1977.
4. Цытович Н. А. Механика мерзлых грунтов. — М.: Высшая школа, 1973.



Профессиональный
холод из Франции

**ЦЕНТРАЛЬНЫЕ
КОМПРЕССОРНЫЕ
СТАНЦИИ**

СПЛИТ-СИСТЕМЫ

Охладители жидкостей

Оборудование для быстрого! замораживания
для быстрого! охлаждения

**Холодильные и
морозильные
камеры**

Проекты
"под ключ"



СТЕП

г. Москва, 2-ой Рощинский пр., д. 8
тел./факс: (095) 232-09-53, 232-21-53,
956-25-76, e-mail: stepgrp@online.ru