

THE EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE SEASON-ACTING THERMAL STABILIZER OF SOIL

Evdokimov V.S., Maximenko V.A., Vasilyev V.K., Tretyakov A.V.
Omsk State Technical University

Abstract. The scope of the research is the solution of the problem of saving of the state of permanently frozen soil in conditions of northern construction. The soil thermal stabilizers are used for permafrost maintenance. We carried out the work which purpose is the research of dynamics of temperature regime of the soil around the thermal stabilizer in the winter and summer for a climatic zone of the South of Western Siberia. Temperature fields of the soil around the thermal stabilizer are experimentally obtained. The design results are confirmed with pilot research. For evaluation of the of the work of a vaporizing zone of the thermal stabilizer we have introduced a new parameter – the volumetric heat content, which takes into account not only the volume of frozen ground, but it's temperature level. It was elaborated and tested the promising example of thermopile.

Keywords: thermal stabilization of soil, temperature fields, thermopile, frozen soil.

CERCETARE EXPERIMENTALĂ A STABILIZATORULUI TERMIC SEZONIER A SOLULUI

Evdochimov V.S., Maximenco V.A., Vasiliev V.K., Tretiacov A.V.
Universitatea Tehnică din Omsk

Rezumat. Scopul studiului constă în contribuții la soluționarea problemei de menținere a stării de îngheț veșnic a solului în condiții de realizarea a proiectelor de construcție în zonele de nod. Pentru menținerea stării de îngheț veșnic a solului se utilizează stabilizatoare termice a solului. Prezenta lucrare este axată pe cercetarea evoluției în dinamică a temperaturii solului în apropierea stabilizatorului de temperatură în regimurile de funcționare pe parcursul iernii și vara în zonele climatice a sudului Siberiei de Vest. Experimental s-au obținut câmpurile termice din sol în zona de amplasare a termostabilizatorului. Rezultatele obținute prin calcule au o bună coincidență cu datele obținute experimental. Pentru estimarea procesului de lucru a zonei de evaporare a termostabilizatorului s-a introdus un nou parametru a conținutului volumetric de căldură, care include nu numai volumul solului în stare de îngheț dar și temperatura acestui volum de sol. S-a proiectat o instalație combinată e perspectivă pentru înghețarea solului.

Cuvinte-cheie: stabilizarea termică a solului, câmp de temperatură, stabilizatorul temperaturii, solul înghețat.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СЕЗОННОДЕЙСТВУЮЩЕГО ТЕРМОСТАБИЛИЗАТОРА ГРУНТА

Евдокимов В.С., Максименко В.А., Васильев В.К., Третьяков А.В.
Омский государственный технический университет

Аннотация. Целью исследования является решение проблемы сохранения состояния вечномерзлых грунтов в условиях северного строительства. Для поддержания вечной мерзлоты используют термостабилизаторы грунта. Данная работа, посвящается исследованиям динамики температурного режима грунта вокруг термостабилизатора в зимнем и летнем режиме эксплуатации для климатической зоны юга Западной Сибири. Экспериментально получены температурные поля грунта вокруг термостабилизатора. Расчетные результаты подтверждены экспериментальными исследованиями. Для оценки работы испарительной зоны термостабилизатора введен новый параметр объемного теплосодержания, который учитывает в себе не только объем замороженного грунта, но температурный уровень. Спроектирована перспективная конструкция комбинированного устройства для заморозки грунта.

Ключевые слова. термостабилизация грунта, температурные поля, сезоннодействующее охлаждающее устройство (СОУ), льдогрунтовый массив, мерзлый грунт.

I. ВВЕДЕНИЕ

В группе изобретений, относящихся к воздушным термостабилизаторам (ТС), основными направлениями являются усовершенствование устройств с естественной циркуляцией воздуха и, в частности, конфузоров для создания ветрового напора, устройств для улучшения самотяги и т.п.

Наибольшее число изобретений посвящено усовершенствованию парожидкостных ТС, и направлены они в основном на усложнение конструкции с целью устранения их чувствительности к вертикализации, увеличения глубины замораживания и улучшения их теплопередающих свойств.

Значительно меньше авторских свидетельств, направленных на улучшение свойств жидкостных ТС. В основном они направлены на создание вынужденной циркуляции теплоносителя с помощью различных типов двигателей, а так же на ликвидацию летней циркуляции теплоносителя.

На основании патентного поиска выявлено:

1. Для замораживания грунтов идет поиск конструкций парожидкостных и жидкостных коаксиальных ТС, причем предпочтение отдается первым ввиду более достаточной надежности и работоспособности конструкции.
2. Продлению срока сохранения грунтовым массивом отрицательных температур способствует изоляция ледогрунтового массива от летних теплопритоков, а так же защита наружных теплообменников (ТО) от солнечной радиации с помощью экранов.
3. Использование ТС в комбинации с емкостями для аккумуляции зимнего холода (так называемые, зероторы) способствуют продлению срока действия охлаждающей системы.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Общим для всех сезоннодействующих охлаждающих устройств (СОУ) является то, что при работе охлаждающего устройства вокруг его заглубленной части образуется столб мерзлого грунта, диаметр которого со временем увеличивается. Скорость его роста зависит от величины потока тепла, отводимого теплообменником в атмосферу, и потока, поступающего от охлаждаемого (замораживаемого) грунта к СОУ. В периоды включения СОУ происходят повышение температуры мерзлого массива и даже его частичное оттаивание. [1,2]

При исследовании теплового режима СОУ возникает задача определения нестационарного температурного поля в окружающем грунте при заданной интенсивности отвода тепла, т.е. при использовании СОУ определенного типа и конструкции. Вторая задача, называемая обратной, сводится к нахождению величины теплового потока, который необходимо отвести из грунта для обеспечения заданного распределения температур в нем.[3]

В качестве исходных данных для решения прямой задачи принимаются или математические характеристики района строительства (температура воздуха, скорость ветра, солнечная радиация), начальная температура грунта, его теплофизические параметры, конструктивные характеристики СОУ. Сложность состоит в том, что здесь, по существу, протекают два взаимосвязанных процесса: промерзание (оттаивание) грунта при взаимодействии с охлаждающим устройством и атмосферой (внешняя задача) и теплоперенос в СОУ (внутренняя). Таким образом, необходимо рассматривать задачу как совместную для системы грунт – СОУ – атмосфера.

Эксперименты проводились на образце индивидуального термостабилизатора грунта ТК 32/6М5 А-01.

Исследование динамики изменения температуры в грунтовом массиве и термосае осуществляется путём непосредственных измерений через систему электрических цифровых термометров, расположенных снаружи на корпусе термосаи и на измерительных штангах.

Анализ динамики теплопритоков осуществляется на основании непосредственных измерений тепловых потоков датчиками, расположенных на наружной поверхности грунтового ТО и в термометрических колоннах, а также расчётно по результатам измерений температуры.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе трехлетних испытаний были получены результаты, анализ которых показывает, что теплопередающие свойства термостабилизатора существенно зависят от условий теплообмена как в окружающей среде, так и в грунте, в процессе развития ледогрунтовой массы, и неразрывно связаны между собой. Взаимодействие всех этих процессов обуславливает закономерности формирования ледогрунтовых аккумуляторов холода в грунте.

Замораживаемый грунт имеет неоднородную геологическую структуру. Сложную структуру представляет замораживаемый массив даже в пределах одного геологического слоя. Процессы теплопередачи сопровождаются различными физико-химическими явлениями. Затруднительно детально осуществить математическую постановку задачи в полном объеме, даже с помощью современных вычислительных средств.

В обход упомянутых трудностей, в теоретических работах, посвященных вопросам искусственного замораживания грунтов, принимается ряд допущений, основным из которых является однородность и изотропность состава грунта в рассматриваемом массиве.[6]

Радиус замораживания вокруг индивидуального термостабилизатора определяется с целью обоснования диаметра испарительной части термостабилизатора для конкретной местности. Кроме того по результатам этого расчета делается подбор количества термостабилизирующих колонок.

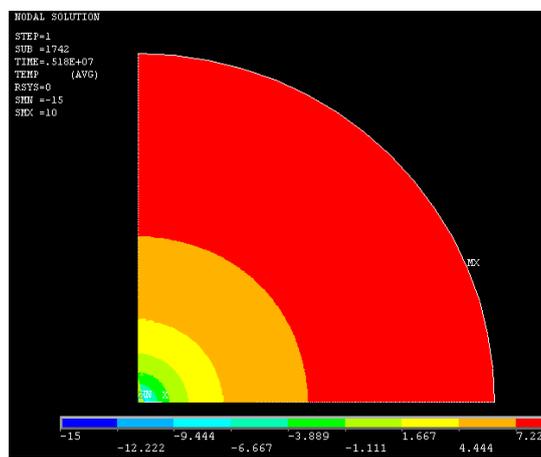


Рис. 1. Вид вывода результатов в ANSYS

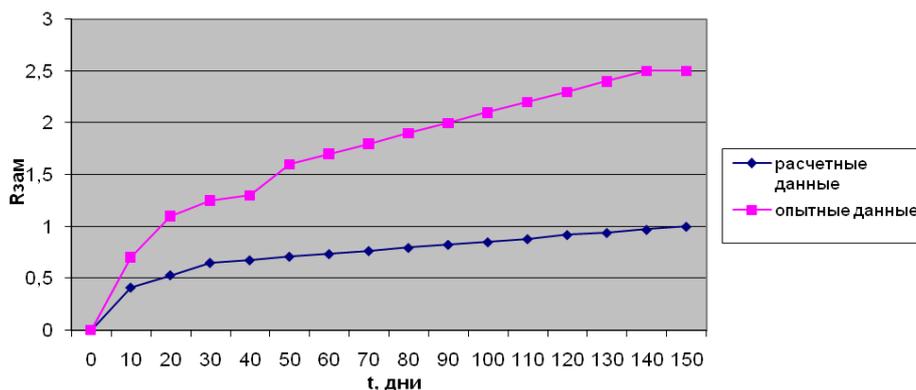


Рис. 2. Сравнение расчетных и опытных данных
Таблица расчетов с учетом поправки на опытные данные имеет вид.

Таблица 1. Зависимость радиуса промерзания от температуры и времени

Диаметр испарителя, мм	38				
Температура грунта	7°C				
Температура окружающего воздуха	-15°C	-20°C	-25°C	-30°C	-35°C
Время заморозки, дни	Радиус замороженной зоны, м				
0	0	0	0	0	0
10	0,8125	0,99375	1,0625	1,15	1,25
20	0,95625	1,175	1,3625	1,4375	1,54375
30	1,0625	1,325	1,54375	1,6125	1,7625
40	1,175	1,475	1,6875	1,7625	2,025
50	1,2875	1,58125	1,8	1,95	2,16875
60	1,4	1,65	1,95	2,1	2,3125
70	1,475	1,7625	2,1	2,275	2,425
80	1,5125	1,875	2,20625	2,35	2,575
90	1,58125	1,9875	2,3125	2,5	2,6875
100	1,6125	2,0625	2,4	2,575	2,7575
110	1,65	2,1375	2,4625	2,6875	2,9
120	1,6875	2,16875	2,5	2,7575	2,975
130	1,725	2,20625	2,5375	2,77875	3,0125
140	1,7625	2,25	2,575	2,83125	3,0875
150	1,8	2,275	2,6125	2,86875	3,125

Из диапазона этих данных выберем температуру испарительной части -20°C (т.к. температура наиболее холодного месяца -22°C). Продолжительность безморозного периода 98 дней, устойчивых морозов 156 дней.

Солнечная радиация влияет на конденсаторную часть. Действие солнечной радиации может осуществляться на горизонтальную и вертикальную поверхности.

Таблица 2. Расчет влияния солнечной радиации

	$F_{\text{горизонт}} \cdot$ м2	$F_{\text{вертикал}} \cdot$ м2	J, Дж/м2	Q, Дж	$\Sigma_{\text{гор}} + \Sigma_{\text{верт}}$ Дж	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	k	$\Delta t, ^\circ\text{C}$ с учетом k
гориз пов.	0,00017	0,068	1500000	102000	132294 ,7	39,847 81	0,1	3,9847 81
верт пов.	0,000031557	0,012623	2400000	30294,72				

Если судить по данным, приведенным в таблице 2, то повышение температуры конденсатора на $3,95^\circ\text{C}$ приведет к сокращению работы термостабилизатора в активном периоде на 50 дней (в зимний период при повышении температуры конденсатора от -20°C до -15°C). Соответственно, за зимние месяцы возможна заморозка на 1,8 метра. Этого не достаточно для образования единого массива.

Для решения этой проблемы спроектировано перспективное комбинированное устройство для заморозки грунта [10], общий вид которого показан на рис.4.

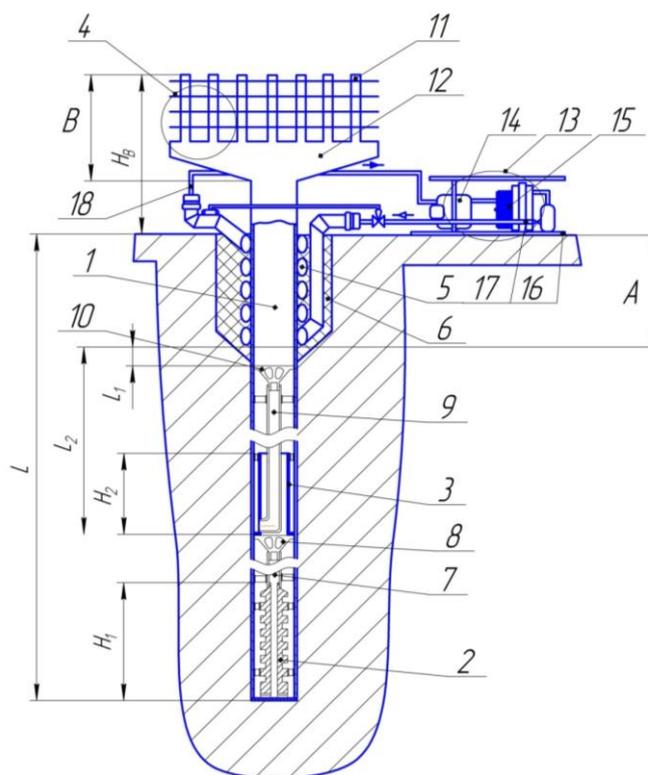


Рис. 4. Общий вид перспективного комбинированного устройства

Спроектированное перспективное устройство включает в себя трубу, выполненную в виде термосваи 1, состоящую из испарителей 2 и 3, заполненных хладагентом, конденсатора 4, состоящего из конденсаторных зон А и В. Вокруг конденсаторной зоны А расположен трубопровод 5, выполняющий роль испарителя и изготовленный в виде трубки эллиптического сечения, плотно навитой на термосваю 1. Вокруг трубопровода 5 смонтирована оболочка с

теплоизоляцией 6 для уменьшения теплопритоков от грунта к зоне А. Термосвая 1, помещенная в грунт на глубину L , содержит испаритель 2, который через промежуточную трубу 7 соединен с воронкой 8. Воронка 8 расположена на расстоянии L_2 от конденсаторной зоны А и выполнена с трапециевидными отверстиями и бортиком таким образом, чтобы бортик был направлен в сторону движения пара для сбора испаряющихся паров и поступления их в зоны конденсации А или В и во избежание попадания хладагента в отверстия. Дополнительный испаритель 3 с воронкой и промежуточной трубой выполнен из теплоизоляционного материала в виде стакана и заполнен хладагентом. Дополнительный испаритель выполнен внутренним диаметром D_2 , в нижней части которого выполнено отверстие для размещения в нем промежуточной трубы наружным диаметром d и внутренним диаметром D_3 . Нижняя часть промежуточной трубы под углом 90° выведена в дополнительный испаритель в зону испарителя H_2 , расположенную между внутренним диаметром термосваи D_1 и внутренним диаметром испарителя D_2 , где $D_3 < d$, $D_2 < D_1$. Воронка 10 расположена в верхней части промежуточной трубы на расстоянии L_1 от зоны А и выполнена с трапециевидными отверстиями и бортиком таким образом, чтобы бортик был направлен в сторону движения пара для сбора испаряющихся паров и поступления их в зоны конденсации А или В и во избежание попадания хладагента в отверстия.

IV. ВЫВОДЫ

Включение в состав транспортных участков термостабилизаторов дополнительных теплоотводящих элементов позволяет обеспечить функционирование термостабилизаторов в период года с положительными температурами атмосферного воздуха за счет циркуляции в них промежуточного хладагента, охлаждаемого холодильной машиной. Тем самым обеспечивается непрерывный (круглогодичный) режим работы.

Спроектированное и исследованное перспективное комбинированное устройство заморозки грунта обладает рядом преимуществ, таких как: адаптация устройства для локальной заморозки участков грунта; обеспечение заморозки грунта на протяжении всего срока эксплуатации; повышение скорости заморозки грунта; снижение металлоемкости и энергозатратности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] N. B. Kutvitskaya, M. A. Minkin. Design of Beds and Foundations of Infrastructure for Oil-Gas Condensate Fields Under Complex Frozen-Soil Conditions. *Soil Mechanics and Foundation Engineering* Volume 51, Issue 1, pp. 36-41 (2014). DOI: 10.1007/s11204-014-9251-2
- [2] È. V. Ibragimov, R. G. Gamzaev, M. A. Andreev, I. A. Dorofeeva. Development of and experience with installation of soil thermostabilizers with use of directed inclined boring. *Soil Mechanics and Foundation Engineering* Volume 50, Issue 2, pp 71-75 (2013). DOI: 10.1007/s11204-013-9213-0
- [3] Yang Zhou, Guoqing Zhou. Approximate solution for the temperature field of 1-D soil freezing process in a semi-infinite region. *Heat and Mass Transfer* V 49, Is.1, pp 75-84 (2013). DOI: 10.1007/s00231-012-1064-0.
- [4] Buchko M. A. *Iskustvennoe zamorajivanie gruntov.* – М., Inforenergo, 1978. – 68 s. (in Russian)
- [5] Ganiev S. N. *Ispolizovanie estestvennogo holoda v severnom stroitelistve».* – М.,

1951. – 260 s. (in Russian)

[6] Piankov S.A., Azizov Z.K. Mehanika gruntov. – Ulianovsk, 2008. – 103 s. (in Russian)

[7] Gapeev S.I. Ukreplenie merzlyh osnovaniem zamorajivaniem. – L.: Stroiizdat. Leningr. otdelenie, 1984. – 165 s. (in Russian)

[8] Vailiev L.L, Vaaz S.L. Zamorajivanie i nagrev grunta s pomoschi ohlajdaiuschih ustroistv». – Minsk: Nauka i tehnika, 1986. – 98 s. (in Russian)

[9] Vealov S.S. Termosvai v snroitelistve na Severe. – L.: Stroiizdat. Leningr. otdelenie, 1984. – 148 s. (in Russian)

[10] Pat. 108051 U1 RU. Ustroistvo dlea akkumuleatsii holoda / V.A. Maksimenko; V.S. Evdokimov; A.M. Kostin; A.S. Gubanov // - 2011. (in Russian)

Сведения об авторах.



Максименко Василий Александрович; к.т.н., доцент кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология» ОмГТУ. Сфера научных интересов: разработки в области холодильной техники. E-mail: maxw52@mail.ru



Васильев Владимир Константинович; доктор технических наук, профессор кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология» ОмГТУ. Сфера научных интересов: энергоресурсосберегающие технологии низкотемпературной и компрессорной техники.



Евдокимов Владимир Сергеевич; аспирант кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология» ОмГТУ. Сфера научных интересов: разработка новых методов поддержания и заморозки грунта. E-mail: omgtu_evdokimov@mail.ru



Третьяков Александр Валерьевич; аспирант кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология» ОмГТУ. Сфера научных интересов: разработки в области холодильной техники и триботехники. E-mail: raznayapost@mail.ru