

ИНЖЕНЕРЛІК ГРАФИКА ЖӘНЕ КӘСІБИ БІЛІМ ПРОБЛЕМАЛАРЫ



PROBLEMS OF ENGINEERING AND PROFESSIONAL EDUCATION

ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКИ И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ISSN 2220-685X

Том • Volume

2

(57) 2020

Ғылыми-педагогикалық журнал
Scientific-pedagogical journal
Научно-педагогический журнал

Редакция алқасы

А. Хасанов (Түркия), Р. Абазов (Америка Құрама Штаттары), В.А. Плоский (Украина), Б.Н. Нұрмаханов (Қазақстан), Д.Ф. Кучкарова (Өзбекстан), Ж.Ж. Жанабаев (Қазақстан), А. Рей (Біріккен Араб Әмірліктері), Д.А. Тусупов (Қазақстан), Н.Б. Қалабаев (Қазақстан), О. Займоғлы (Түркия), Т. Аввад (Сирия), А.Ж. Жүсіпбеков (Қазақстан), С.К. Баймуканов (Қазақстан), Т.К. Самұратова (Қазақстан), А.С. Сарсембаева (Қазақстан), С.Б. Енкебаев (Қазақстан), Ж.А. Шахмов (Қазақстан), Р.Е. Лукпанов (Қазақстан).

Бас редактор

Әуез Кеңесбекұлы Бәйдібеков

Editorial board

A. Hasanov (Turkey), R. Abazov (United States of America), V.A. Ploskiy (Ukraine), B.N. Nurmahanov (Kazakhstan), D.F. Kuchkarova (Uzbekistan), Zh.Zh. Zhanabayev (Kazakhstan), A. Rghei (United Arab Emirates), D.A. Tusupov (Kazakhstan), N.B. Kalabaev (Kazakhstan), O. Zaimoglu (Turkey), T. Awwad (Syria), A.Zh. Zhussupbekov (Kazakhstan), S.K. Baimukhanov (Kazakhstan), T.K.. Samuratova (Kazakhstan), A.S. Sarsembayeva (Kazakhstan), S.B. Yenkebayev (Kazakhstan), Zh.A. Shakhmov (Kazakhstan), R.E. Lukpanov (Kazakhstan).

Chief Editor

Aueyz Baidabekov

Редакционная коллегия

А. Хасанов (Турция), Р. Абазов (Соединённые Штаты Америки), В.А. Плоский (Украина), Б.Н. Нурмаханов (Казахстан), Д.Ф. Кучкарова (Узбекистан), Ж.Ж. Джанабаев (Казахстан), А. Рей (Объединённые Арабские Эмираты), Д.А.. Тусупов (Казахстан), Н.Б. Калабаев (Казахстан), О. Займоғлы (Түркия), Т. Аввад (Сирия), А.Ж. Жусупбеков (Казахстан), С.К. Баймуханов (Казахстан), Т.К. Самуратова (Казахстан), А.С. Сарсембаева (Казахстан), С.Б. Енкебаев (Казахстан), Ж.А. Шахмов (Казахстан), Р.Е. Лукпанов (Казахстан).

Главный редактор

Байдабеков Ауез Кеңесбекович

web сайт: <http://bulprengpe.enu.kz>
e-mail: journal.enu@gmail.com

ISSN 2220 - 685X

© Л.Н. Гумилев ат. ЕҰҰ

Ғылыми-педагогикалық журнал

**Инженерлік графика және кәсіби білім
проблемалары**

2 нөмір, 57 том (2020)

2010 жылдың 11 наурызынан шығады

Scientific-pedagogical journal

**Problems of engineering and professional
education**

Volume 57 (2020), Number 2

Published since March 11, 2010

Научно-педагогический журнал

**Проблемы инженерной графики и
профессионального образования**

Том 57 (2020), Номер 2

Издается с 11 марта 2010 года



Нұр-Сұлтан
2020

Инженерлік графика және кәсіби білім проблемалары

Problems of engineering and professional
education

Проблемы инженерной графики и
профессионального образования

№ 2 (57)

Мазмұны / Contents / Содержание

Ташимов Н.Э.	Пути развития способности проектирования учащихся (на примере архитектурно-строительного черчения) Оқушылардың жобалау қабілетін дамыту жолдары (сәулет-құрылыс сызбасы мысалында) Ways of developing students' design ability (on the example of architectural and construction drawing)	5
Sarsembayeva A.S., Collins P.E., Slambekova Zh.S.	Vapour transfer in the freezing soils – physical phenomena of the frost heave Топырақтағы будың қозғалысы – мұздан ісіну құбылысының физикалық негізі Пароперенос в промерзающих грунтах - физическая основа явления морозного пучения	10
Есекешова М.Д., Тулеуова Г.К.	Сәулет мамандығына инженерлік графика пәнін оқытудағы мәселелер мен оларды шешу жолдары Проблемы обучения инженерной графики для специальности Архитектура и пути их решения Problems of Teaching Engineering Graphics for Architecture and Ways to Solve Them	24
Нағымжанова Қ.М., Насибек Д.Д.	Болашақ педагог-психологтардың кәсіби даярлығын қалыптастыру жолдары Пути формирования профессиональной подготовки будущих педагогов-психологов Ways to form professional training of future teachers-psychologists	31
Еспенбетов Б.Ж., Байганова А.С.	Особенности проектирования жилых зданий с использованием современных стилистических тенденций Заманауи стилистикалық тенденцияларды қолдана отырып, тұрғын үйлерді жобалау ерекшеліктері Features of the design of residential buildings using modern stylistic trends	42
Кәрім Т., Иргембаева Н.М.	Психологиялық-педагогикалық пәндер арқылы болашақ педагогтың кәсіби құзыреттілігін қалыптастыру Формирование профессиональной компетенции будущего педагога посредством психолого-педагогических дисциплин Formation of professional competence of the future teacher through psychological and pedagogical disciplines	51

IRSTI 67.03.05:67.11.29

A.S. Sarsembayeva¹, P.E. Collins², Zh.S. Slambekova³

^{1,3}L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan Kazakhstan

²Brunel University London, London, UK

(E-mail: assel_enu@mail.ru)

Vapour transfer in the freezing soils – physical phenomena of the frost heave

Abstract: Study of the hydraulic conductivity in the freezing soils and the frost heave mechanism started as far as in the 30's of the last century and even earlier. However explanation of frost heave mechanism with hydraulic conductivity is fundamentally wrong approach which leads to the complication in the calculations and the predictions of frost heave. The presented work explains the detailed description of the moisture migration in a gas phase within the freezing porous media and gives the mathematical modelling based on the phase transitions of moisture as water–gas–water-ice. The proposed method is based on the thermodynamically and phases equilibrium and allows to determine the speed of the mass transfer in the freezing media. The calculations were shown in an example of the experimental testing data. The obtained results admit the strong relationship of the frost heave and air void volume. They also emphasize the impact of soil density, void ratio and moisture content on the amount of built ice in the freezing zone of the soil.

Key words: frost heave, vapour transfer, freezing soils, clay soils, mass transfer.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2220-685X-2020-57-2-10-23>

Introduction

The frost heave induced by the ice lenses grow in the freezing soil was confirmed by almost every study conducted in the experimental tests. However the mechanism of frost heave has got several theoretical explanation ways.

The theory based on hydraulic conductivity in the soils and moisture movement toward the freezing front was experimentally treated by Hoekstra, (1966).

The strong supporters of the capillary theory were Miller (1972), Penner (1967), Everett (1961) Williams (1968), Penner (1977) and others.

O'Neill and Miller (1870), developed a rigid ice model of frost heave where he loaded the wire with weights and let it to travel through the ice block O'Neill, (1983).

The method based on the hydraulic conductivity with relationship to the thermodynamical equilibrium between ice and water it was widely presented by the scientists of the former Soviet Union, Europe, U.S. and Canada like Loch and Kay (1978), Ershov and others. The Clausius –Clayperon equation was used to simulate the coupled flow of heat and moisture in a liquid phase towards the freezing front.

Gryogeologists of the later generation like Michalowski and Zhu (2006) used a porosity function in his micromechanical model to simulate the ice grow during the frost heave. Cheverev (1998), Othman and Benson (1993), Othman and others (1997) based their calculations for the hydraulic conductivity on the Darcy's law and coefficient of hydraulic conductivity.

An international work of Xu *et al.* (1997), where the well-known scientists from the main Geocryology institutions from China, Japan and Russia presented their model for predict the unfrozen, i.e. moveable water content in the freezing soils. Notable, that this work was also based on the hydraulic conductivity of the unfrozen water in the freezing media.

The work of Simonsen, Janoo and Isacsson (1997), Erik Simonsen and others (1997), Shoop and Bigl (1997) and some other scientists gave a detailed description for the *FROSTTB* model, developed by the U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, aimed to predict a temperature and a moisture changes. Their study was focused on the coupled mass and heat transfer model, based again on the hydraulic conductivity, porosity and Darcy's law to explain the moisture migration.

The recent studies of Zhang *et al.*, (2015) reaffirm the intensification and complication of the hydraulic conductivity theory, supplemented with coupled heat and porous function as the main reason for the frost heave phenomena in a freezing media.

Research statement

Specificity if frost heave formation in the cohesive soils confirms the position that there is no hydraulic conductivity in the freezing media. And the application of Darcy's law in the frozen or semi-frozen zone is incorrect.

1. Firstly because to express the hydraulic conductivity we need a sufficient hydraulic coefficient with the continuously flow of water and the cross section of the flux.

Notable that frost heave obviously happens in the soils of low permeability, like clay or silt.

The cross section dimensions of porous and the channels are so tiny, that the surface tension many times exceeds the negative pressure of the frozen side, which is cryosuction.

2. Secondly, the moisture in the frozen zone doesn't have any properties of the free water anymore. Because the pore water is frozen to ice, its properties are close to the solid phase now.

3. Lastly the frost heave happens in non-saturated soils and it's definitely not because of the hydraulic conductivity there because the air bubbles theoretically should prevent the flow in such a small porous.

Therefore hydraulic conductivity can't take a place in the freezing soils media.

How the moisture is collected in the frozen soils?

According to Gibbs theory any substance has got solid, liquid and gas phases with the equilibrium boundaries between them. Such phases for moisture might be ice-water-vapour (fig.1).

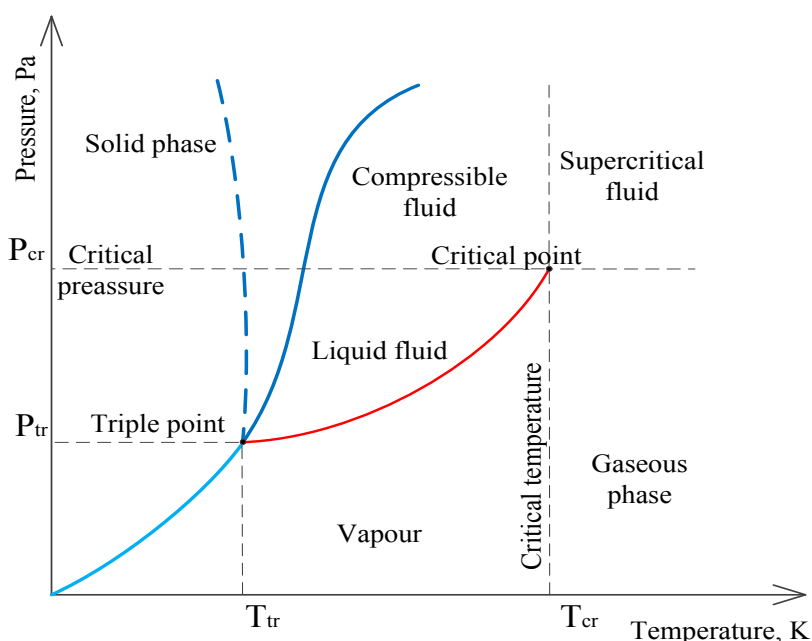


Figure 1: Phase diagram for a single substance system according to G. Gibbs phase equilibrium

According to Gibbs equation for a single substance for 2 or more phase,

Gibbs Phase Rule:

$$f = c - p + 2,$$

where: f – Intensive Degrees of freedom or variable. Number of intensive variables that can be changed independently without disturbing the number of phases in equilibrium;

p – number of phases like gas, homogeneous liquid phases, homogeneous solid phases;

c – number of components, which is equal to the minimum number of independent constituents.

Let's consider the unfrozen part of the soils: the moisture contained in the pores stay in a liquid and a gas phases, whereat the volume of vapour may be found by thermodynamically equilibrium with volume of water. In a porous soil media the equilibrium of water and vapor phases establishes in cause of stable temperature T and constant pressure P and is described as:

$$q_{\text{water}}(p, T) = q_{\text{vapor}}(p, T).$$

In 2 phase single component system with like water-vapour or ice-water we get a condition with 1 degree of freedom.

$$f = c - p + 2 = 1 - 2 + 2 = 1.$$

Assuming that the pressure is constant p_{const} . Then any change of temperature in that case leads to the volume change of both phases in order to equilibrate the system after a certain period of time. For example we have a determined liquid-vapour relationship on the segment of temperature from $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ till its critical value. In that cause Gibbs equation will be:

$$f = c - p + 1 = 1 - 2 + 1 = 0.$$

At the temperature below $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ the vapour may directly turn to ice and vice versa depending on the concentration.

In cause of unidirectional freezing the temperature of the one side of the sample is turning to negative while the other side may stay warm. In the freezing part of the soil the liquid phase is turning to ice. The exceeded volume saturated vapour starts to condensate to water and afterwards turns to ice. So we get an instable system of segregated ice and reduced pressure of vapor, which is comparatively below the vapor pressure in the positive temperature area. The formed pore pressure gradient induce the water mass transfer in a gas phase towards the freezing area. And by fact the greater the temperature drop, which leads to the partial pressure difference, and the higher the porosity coefficient e of the given soil sample, the more intensive moisture mass transfer it induce.

The vapour mass transport might be also defined by convection phenomena in a gas media.

The volume of vapour in the stable system is found by the difference of voids and water volumes and corresponds to the coefficient of porosity e .

The vapour pressure might be found by **Clausius–Clapeyron equation**, which expresses the relationship of pressure p from the temperature T for a single substance system formed by 2 phases.

For ice – water transition:

$$\frac{\Delta P}{\Delta T} = \frac{L}{T \cdot \Delta V} = \frac{\Delta s}{\Delta V},$$

where: L - is a specific latent heat;

T - the [temperature](#);

ΔV - is the [specific volume](#) change of the phase transition;

Δs - is the [specific entropy](#) change of the phase transition.

The integral by pressure and temperature difference of this equation will be:

$$p_2 = p_1 + \frac{L}{\Delta V} \ln \frac{T_2}{T_1},$$

$$\ln \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = \frac{\Delta H_{\text{vapor}}}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right).$$

The mass of vapour might be found by the volume of the saturated vapour. According to the thermodynamically equilibrium for

a single substance system the vapour pressure in the closed system depends on the temperature T and pressure P .

$$m_{vapour} = \frac{\mu \cdot P_{sw} \cdot T \cdot V}{R \cdot T},$$

where: μ – molar mass of vapour and equal to 18.01528(33) g/mol;

P_{sw} – saturated vapor pressure corresponding to temperature, at 20 °C $P_{sw}=2.34$ kPa;

R – Universal gas constant, 8,314 4598(48) J/(mol·K);

T – temperature in Kelvins.

Experimental setting

In the experimental part of research the freezing and thawing cycles were conducted for 9 soil columns with simultaneous supplying with de-ionized water from the basement. The 50 cm height soil samples of sandy clay were synthetically prepared with sharp sand 50% and kaolinite clay 50% by dry mass. The soil was evenly compacted into the insulated cylindrical molds with 10 cm diameter. The dry density of the soil in the columns varied from 1.31 to 1.78 g/cm³. The initial moisture content consistent 17.3% of de-ionized water. The slow-freezing technic was used here to simulate the natural conditions of freezing as much as possible (Reference to the previous papers). Temperature, mass transfer and frost heaving was monitored during the test.

Results and discussion

The results and parameters are presented in the table 1. Here at the “before the test” condition the initial setting parameters were presented. And as “after the test”, the data collected after two freeze-thaw cycle at 636 hours was applied.

The test was running for approximately 600h and included 2 freeze-thaw cycles.

The period of time between 494h and 518h was considered for the mass transfer calculation during the second freezing cycles of the soils.

Table 1: Soil sample parameters before and after the freeze-thaw cycles with de-ionized water supply

Column	Weight of soil, g		Bulk density ρ , g/cm ³		Average moisture content per column W , %		Dry density Bulk density ρ_{dry} , g/cm ³		Void ratio e	
	Before test	After test	Before test	After test	Before test	After test	Before test	After test	Before test	After test
#1	5463	5988	1.380	1.506	17.3	25.01	1.177	1.205	1.223	1.170
#2	6012	6559	1.519	1.652	17.3	25.23	1.295	1.320	1.020	0.982
#3	6236	6956	1.575	1.753	17.3	27.39	1.343	1.376	0.947	0.900
#4	7452	7964	1.883	1.992	17.3	23.78	1.605	1.609	0.629	0.625
#5	7057	7622	1.783	1.914	17.3	25.35	1.520	1.527	0.721	0.713
#6	6813	7068	1.721	1.780	17.3	29.07	1.467	1.379	0.782	0.896
#7	7662	8230	1.936	2.035	17.3	24.50	1.650	1.634	0.585	0.600
#8	8332	8612	2.105	2.122	17.3	20.70	1.794	1.758	0.457	0.488
#9	8355	8544	2.111	2.124	17.3	20.85	1.799	1.757	0.453	0.488

In the table 2 there are presented the results of the calculations for the column #1.

In case of determined mass and the moisture content in the certain period of freezing time it is possible to define the void ratio and the volumetric data of each phase in the soil data (Table 2a).

The temperature distribution by the column height was monitored hourly by the thermocouples inserted into the soil sample during the unidirectional freezing from the top surface of the column.

Table 2a: Mass transfer in the column #1, between 494 and 518 hours of the second freeze cycle

Distance from the column surface, cm	volume in a collar, cm ³	Weight of the soil in a collar	Bulk Density After	Average moisture content W per collar	Dry density After	Mass of solids, g	Mass of water, g	Volume of solids, cm ³	Volume of voids, cm ³	void ratio $e = \rho_s / \rho_{dry} - 1$ After	volume of air, cm ³
0 cm	785.4	1188.55	1.513	27.06	1.191	935.42	253.13	357.71	427.68	1.196	174.56
5 cm	785.4	1188.55	1.513	25.34	1.207	948.26	240.29	362.62	422.78	1.166	182.49
15 cm	785.4	1188.55	1.513	20.29	1.258	988.07	200.48	377.85	407.55	1.079	207.07
25 cm	785.4	1188.55	1.513	23.20	1.228	964.73	223.82	368.92	416.48	1.129	192.66
35 cm	785.4	1188.55	1.513	30.05	1.164	913.92	274.63	349.49	435.91	1.247	161.27
45 cm	824.7	1247.98	1.441	27.60	1.186	978.04	269.94	374.01	450.66	1.205	180.72

According to the registered temperature at 494 and 518 hours and the corresponding saturated vapour pressure the mass of the water in the gaseous condition was determined.

Table 2b: Continuation of mass transfer calculations

Temperature at 494 h	Saturated vapour pressure, P_{sat} , Pa	mass of vapour at 494h, g $m = \mu \cdot r \cdot V \cdot P_{sat} / (R \cdot T \cdot 100\%)$	Density of the saturated vapour at 494h g/cm ³	Temperature at 518 h, °C	Saturated vapour pressure, P_{sat} , Pa	Mass of vapour at 518 hours, g	The heat in 24 hours $Q = m \cdot C \cdot \Delta T$, J	Vapour speed $v = 4 \cdot N / (C \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \Delta T)$, cm per 24 h	Speed of the vapour m/hour	build of ice mass between 494/518h per hour, g/hour
-10.44	277.17	$3.99 \cdot 10^{-4}$	$2.29 \cdot 10^{-6}$	-12.28	239.25	$3.47 \cdot 10^{-4}$	0.1387	944.58	0.394	$2.17 \cdot 10^{-6}$
-4.4	440.69	$6.48 \cdot 10^{-4}$	$3.55 \cdot 10^{-6}$	-6.00	391.25	$5.79 \cdot 10^{-4}$	0.1845	888.92	0.370	$2.89 \cdot 10^{-6}$
-3.33	475.45	$7.90 \cdot 10^{-4}$	$3.82 \cdot 10^{-6}$	-4.99	422.00	$7.06 \cdot 10^{-4}$	0.2250	857.55	0.357	$3.52 \cdot 10^{-6}$
-1.38	553.3	$8.5 \cdot 10^{-4}$	$4.41 \cdot 10^{-6}$	-3.20	483.48	$7.48 \cdot 10^{-4}$	0.2720	879.58	0.366	$4.26 \cdot 10^{-6}$
-0.54	588.43	$7.54 \cdot 10^{-4}$	$4.68 \cdot 10^{-6}$	-1.04	567.00	$7.28 \cdot 10^{-4}$	0.0696	922.61	0.384	$1.09 \cdot 10^{-6}$
0.24	622.69	$8.92 \cdot 10^{-4}$	$4.93 \cdot 10^{-6}$	-0.16	604.78	$8.67 \cdot 10^{-4}$	0.0649	910.45	0.379	$1.02 \cdot 10^{-6}$

For example the mass of vapor at 5 cm depth and -4.4 °C temperature might be defined by **Clausius–Clapeyron equation**:

$$m_{vapour} = \frac{\mu \cdot P_{sw} \cdot V}{R \cdot T} = \frac{0.018 \cdot 440.69 \cdot 182.49 \cdot 10^{-6}}{8.3144598 \cdot (273 - 4.4)} = 6.482 \cdot 10^{-7} kg \text{ or } 6.482 \cdot 10^{-4} g,$$

where: μ – molar mass of vapour and equal to 18.01528(33) g/mol;

P_{sw} – saturated vapor pressure corresponding to -4.4 °C temperature is $P_{sw}=0.44069$ kPa;

V – volume of air, cm³;

R – Universal gas constant, 8,314 4598(48) J/(mol·K);

T – temperature in Kelvins.

The heat transfer at the same point between 494h and 518h period of the test might be found as:

$$N \cdot \tau = m \cdot C \cdot \Delta T = 5.789 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot ((273 - 6.0) - (273 - 4.4)) + \frac{(6.482 \cdot 10^{-4} - 5.789 \cdot 10^{-4})(2.3 \cdot 10^6 + 335 \cdot 10^3)}{1000} = 0.1845 \text{ J},$$

where: τ – period of time between 494h and 518 h, $t=24$ hours;
 m – mass of vapour according to the temperature at 494h and 518h, g;
 C – specific heat for vapour $C=2 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$;
 ΔT – temperature change, K.

$2.3 \cdot 10^6$ and $335 \cdot 10^3 \text{ J}$ - latent heat for condensation and freezing of 1 kg of water accordingly.

The mass of the passing vapour is equal to density of vapour to it volume. Here the volume of the gas passing through the cross section is expressed by the speed of vapour to the period of time.

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot v \cdot \tau \cdot S.$$

So, the vapour speed is found by following expression:

$$v = \frac{N \cdot \tau}{m \cdot C \cdot \Delta T} = \frac{N}{\rho \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot C \cdot \Delta T} = \frac{0.1844}{3.55 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{182.49}{10} \cdot 2 \cdot (6.0 - 4.4)} = 888.918 \frac{\text{cm}}{24\text{h}} = 0.37 \text{ m/h}.$$

The mass of ice built per hour at 5 cm depth is determined as a difference of vapour mass between 494 and 518 hours over 24 hours:

$$m_{ice} = \frac{m_{vapour}^{494} - m_{vapour}^{518}}{\tau} = \frac{6.482 \cdot 10^{-7} - 5.789 \cdot 10^{-7}}{24\text{h}} = 2.89 \cdot 10^{-6} \text{ g/h}.$$

In this way, according to the phase equilibrium and thermodynamically relationship, assuming that all vapour in the pores is fully saturated, it is possible to calculate the heat and mass transfer in the freezing media.

However the mass transfer in the dense soils like in the soil sample at column #7 reduced to hundred times comparing to the loose soil sample in column #1 (Table 3a and 3b). Though, the speed of the vapour towards the freezing top remained the same. This is due to the reduced void ratio and small size of the cross section of the air voids channels.

Table 3a: Mass transfer in the column #7, between 494 and 518 hours of the second freeze cycle

Distance from the column surface, cm	volume in a collar, cm ³	Weight of the soil in a collar	Bulk Density After	Average moisture content W per collar	Dry density After	Mass of solids, g	Mass of water, g	Volume of solids, cm ³	Volume of voids, cm ³	void ratio $e = \rho_s / \rho_{dry} - 1$ After	volume of air, cm ³
0 cm	887.5	1491.5	1.681	52.20	1.104	980.0	511.6	374.76	512.74	1.368	1.19
5 cm	824.7	1491.5	1.809	37.80	1.313	1082.4	409.1	413.92	410.75	0.992	1.60
15 cm	777.5	1491.5	1.918	24.75	1.538	1195.6	295.9	457.22	320.33	0.701	24.41
25 cm	777.5	1491.5	1.918	24.22	1.544	1200.7	290.8	459.17	318.37	0.693	27.56
35 cm	777.5	1491.5	1.918	23.32	1.556	1209.5	282.1	462.52	315.02	0.681	32.97
45 cm	769.7	1491.5	1.938	21.71	1.592	1225.5	266.1	468.64	301.05	0.642	35.00

Table 3b – Continuation of mass transfer calculations

Temperature at 494 h	Saturated vapour pressure, P _{sat} , Pa	mass of vapour at 494h, $g/m^3 = \mu \cdot r \cdot V \cdot P_{sat} / (R \cdot T \cdot 100\%)$	Density of the saturated vapour at 494h g/cm ³	Temperature at 518 h, °C	Saturated vapour pressure, P _{sat} , Pa	Mass of vapour at 518 h, g	The heat in 24 hours $N = m \cdot C \cdot \Delta T$, J	Vapour speed $v = 4 \cdot N / (C \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \Delta T)$, cm per 24 h	Speed of the vapour m/hour	build of ice mass between 494/518h per hour, g/hour
-10.58	274.11	$2.69 \cdot 10^{-6}$	$2.26 \cdot 10^{-6}$	-12.11	242.48	$2.39 \cdot 10^{-6}$	0.0008	1082.4	0.451	$1.23 \cdot 10^{-8}$
-6.75	369.59	$4.82 \cdot 10^{-6}$	$3.01 \cdot 10^{-6}$	-8.06	333.90	$4.37 \cdot 10^{-6}$	0.0012	935.35	0.390	$1.85 \cdot 10^{-8}$
-4.27	446.28	$8.78 \cdot 10^{-5}$	$3.60 \cdot 10^{-6}$	-5.46	407.94	$8.06 \cdot 10^{-5}$	0.0192	915.32	0.381	$2.99 \cdot 10^{-7}$
-2.95	492.44	$1.09 \cdot 10^{-4}$	$3.95 \cdot 10^{-6}$	-4.13	450.91	$1.00 \cdot 10^{-4}$	0.0234	905.95	0.377	$3.64 \cdot 10^{-7}$
-1.21	560.15	$1.47 \cdot 10^{-4}$	$4.46 \cdot 10^{-6}$	-2.37	514.34	$1.36 \cdot 10^{-4}$	0.0307	893.38	0.372	$4.77 \cdot 10^{-7}$
-0.16	604.77	$1.68 \cdot 10^{-4}$	$4.80 \cdot 10^{-6}$	-0.26	600.46	$1.67 \cdot 10^{-4}$	0.0036	900.91	0.375	$4.73 \cdot 10^{-8}$

In this way, the frost heave depends on the freezing rate, moisture content and density of the soils. According to Iushkov and Sergeev, the greatest values of the frost heave were achieved when the freezing rate in the unidirectional freezing test of the soil samples compiled 2-3 cm/day. This is support the statement that vapour transfer requires some

time for phase transformations within the temperature zones but also the significant pore pressure gradient to enable the moisture transfer in a gaseous condition. To achieve the greater pore pressure gradient the critical role takes an increased void ratio and a moisture content, which should be the sufficiently below the saturation W_{sat} of the soils to enable the formation of the water-saturated vapour.

Conclusion

1. Mass transfer in the freezing media can't be determined with Darcy's Law or hydraulic conductivity relationship, due to the absence of the continuous liquid flow.

2. Mass transfer in the unidirectional freezing soils depends on its density, moisture content and air voids ratio. The equation of the state in the freezing media is described by the phase equilibrium according to Gibbs phase rule (Ref).

3. The frost heave in the unsaturated soils prevail the frost heave in the fully saturated soils. This is explained by the fact that the mass transfer of the moisture is implemented via fully saturated vapour in a gas condition.

4. Assuming that the vapour inside the soil is in the saturated condition it is possible to calculate mass of vapour by the Clausius-Clapeyron equation corresponding to the temperature and moisture-density relationship.

5. According to the thermodynamically equilibrium the heat transfer is found as a mass of vapour referred to the specific heat and the temperature change at a certain interval of time.

6. Travel speed of the saturated vapour is found by the latent energy stands out in the certain interval of time to the vapour mass corresponding to the temperature change and specific heat.

The determined speed of vapour appeared the same for the loose and dense soils with a varied porosity coefficient. Though the mass of ice build in the varied soil sample differed according to the cross section sizes of the pore channels. So the mass transfer in the for loose soils with dry density 1.2 g/cm^3 was 100 times greater comparing to the dense soils with dry density $1.4-1.5 \text{ g/cm}^3$.

References

1. Everett, D.H. (1961) 'The thermodynamics of frost damage to porous solids', Transactions of the Faraday Society, (57), pp. 1541-1551.

2. Hoekstra, P. (1966) 'Moisture movement in soils under temperature gradients with the cold-side temperature below freezing', *Water Resources Research*, 2(2), pp. 241-250.
3. Loch, J.P.G. and Kay, B.D. (1978) 'Water redistribution in partially frozen, saturated silt under several temperature gradient and overburden loads', *Soil Science Society of America Journal*, 42(3), pp. 400-406.
4. Michalowski, R.L. and Zhu, M. (2006) 'Frost heave modelling using porosity rate function', *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 30(8), pp. 703-722.
5. Miller, R.D. (1972) 'Freezing and heaving of saturated and unsaturated soils', *Highw Res Rec*, (39), pp. 1-11.
6. O'Neill, K. (1983) 'The physics of mathematical frost heave models: A review', *Cold Regions Science and Technology*, 6(3), pp. 275-291.
7. Othman, M.A. and Benson, C.H. (1993) 'Effect of freeze-thaw on the hydraulic conductivity and morphology of compacted clay', *Canadian Geotechnical Journal*, 30(2), pp. 236-246.
8. Penner, E. (1967) 'Heaving Pressure in Soils During Unidirectional Freezing', *Canadian Geotechnical Journal*, 4(4), pp. 398-408.
9. Shoop, S.A. and Bigl, S.R. (1997) 'Moisture migration during freeze and thaw of unsaturated soils: Modeling and large scale experiments', *Cold Regions Science and Technology*, 25(1), pp. 33-45.
10. Simonsen, E., Janoo, V.C. and Isacsson, U. (1997) 'Prediction of temperature and moisture changes in pavement structures', *Journal of Cold Regions Engineering*, 11(4), pp. 291.
11. Xu, X., Wang, J., Zhang, L., Deng, Y., Chuvilin, E., Yershov, E., Ishizaki, T. and Fukuda, M. (1997) 'Mechanism of frost heave by film water migration under temperature gradient', *Chinese Science Bulletin*, 42, pp. 1290-1294.
12. Zhang, S., Sun, Z., Xu, X. and Du, H. (2013) 'Volumetric calculation method and temperature characteristics of frozen soil in mechanical testing', *Cold Regions Science and Technology*, 85(0), pp. 225-231.

А.С. Сарсембаева¹, П.Е. Коллинз², Ж.С. Сламбекова³

^{1,3}Л.Н.Гумилев ат. Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
²Брунелдің Лондон Университеті, Лондон, Ұлыбритания

Топырақтағы будың қозғалысы – мұздан ісіну құбылысының физикалық негізі

Аннотация: Мұздатылған топырақтардағы ылғал өткізгіштігі мен аяздан ісіну құбылысы зерттеу өткен ғасырдың 30-шы жылдарында және одан ертерек басталған. Топырақтың мұздап қату және аяздан ісіну процесін гидродинамика заңдарымен негіздеу - қалыптасқан қате тәсіл. Ондай есептеу тәсілдердер мұздан қату және топырақтың мұздан ісіну нәтижелерін

болжауда негізсіз ауытқуларға әкеледі. Ұсынылған жұмыс мұздатын топырақтың кеуекті ортадағы газ фазасындағы ылғалдың орын ауыстыруын яғни миграциясын толық сипаттап түсіндіреді және ылғалдың су-газ-су-мұз фазалық ауысуларына негізделген математикалық модельді ұсынады. Ұсынылған әдіс термодинамикалық және фазалық тепе-теңдікке негізделген және топырақты мұздату кезінде бу қозғалысының жылдамдығын анықтауға мүмкіндік береді. Есептеулер эксперименттік тестілеу мәліметтерінің мысалында көрсетілген. Шыққан нәтижелер топырақтың аяздан ісіну мен ауа кеуектілігінің арасында тікелей байланыс болатынын мойындайды. Сонымен қатар шыққан нәтижелер топырақ тығыздығы, ондағы кеуектілік коэффициенті және бастапқы топырақ ылғалдығы аяздан қатқан топырақ ішіндегі түзілген мұз линзалар мөлшеріне әсерін тигізетінін дәлелдеді.

Кілт сөздер: топырақтың аяздан ісінуі, топырақтағы бу өткізгіштігі, мұздатылған топырақтар, сазды топырақтар, масса өткізгіштігі.

А.С. Сарсембаева¹, П.Е. Коллинз², Ж.С. Сламбекова³

^{1,3}*Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан*

²*Лондонский Университет Брунеля, Лондон, Великобритания*

Пароперенос в промерзающих грунтах - физическая основа явления морозного пучения

Аннотация: Изучение влагопереноса в промерзающих грунтах, а также феномена морозного пучения началось еще в 30-х годах прошлого века и даже раньше. Однако объяснение механизма морозного пучения законами гидростатики и гидродинамики является в корне неверным подходом, который приводит к усложнению расчетов и прогнозов морозного пучения. Представленная работа дает подробное описание миграции влаги в парообразном состоянии при промерзании в пористой грунтовой среде. Также было выполнено математическое моделирование фазовых переходов влаги «вода – пар – вода-лед». Предлагаемый метод обоснован термодинамическими законами и фазовым равновесием и позволяет определять скорость массопереноса в промерзающих грунтах. В статье были приведены расчеты на примере данных полученных в ходе экспериментальных испытаний. Полученные результаты показали прямую взаимосвязь между величиной морозного пучения и объемом пустот в промерзающем грунте. Полученные результаты также подчеркивают влияние плотности почвы, коэффициента пустотности и влажности на количество льда образованного в зоне промерзания грунтов.

Ключевые слова: морозное пучение, газообмен при промерзании, промерзающие грунты, глинистые грунты, массоперенос.

References

1. Everett D.H. [The thermodynamics of frost damage to porous solids', Transactions of the Faraday Society] (57, 1961). [in English]
2. Hoekstra P. [Moisture movement in soils under temperature gradients with the cold-side temperature below freezing] [Water Resources Research] (2(2), 1966). [in English]
3. Loch J.P.G., Kay B.D. [Water redistribution in partially frozen, saturated silt under several temperautre gradient and overburden loads] [Soil Science Society of America Journal] (42(3), 1978). [in English]
4. Michalowski R.L., Zhu M. [Frost heave modelling using porosity rate function] [International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics] (30(8), 2006). [in English]
5. Miller R.D. [Freezing and heaving of saturated and unsaturated soils] [Highw Res Rec] ((39), 1972). [in English]
6. O'Neill K. [The physics of mathematical frost heave models: A review] [Cold Regions Science and Technology] (6(3), 1983). [in English]
7. Othman M.A., Benson C.H. [Effect of freeze-thaw on the hydraulic conductivity and morphology of compacted clay] [Canadian Geotechnical Journal] (30(2), 1993). [in English]
8. Penner E. [Heaving Pressure in Soils During Unidirectional Freezing] [Canadian Geotechnical Journal] (4(4), 1967). [in English]
9. Shoop S.A., Bigl S.R. [Moisture migration during freeze and thaw of unsaturated soils: Modeling and large scale experiments] [Cold Regions Science and Technology] (25(1), 1997). [in English]
10. Simonsen E., Janoo V.C., Isacson U. [Prediction of temperature and moisture changes in pavement structures] [Journal of Cold Regions Engineering] (11(4), 1997). [in English]
11. Xu X., Wang J., Zhang L., Deng Y., Chuvilin E., Yershov E., Ishizaki T., Fukuda M. [Mechanism of frost heave by film water migration under temperature gradient] [Chinese Science Bulletin] (42, 1997). [in English]
12. Zhang S., Sun Z., Xu X., Du H. [Volumetric calculation method and temperature characteristics of frozen soil in mechanical testing] [Cold Regions Science and Technology] (85, 2013). [in English]

Автор (лар) ға ұсынымдар

- Мақала Word бағдарламасында терілген және электронды нұсқасымен, қағазға басылып өткізілуі тиіс (басқа қаладағы авторларға электронды нұсқасын өткізуге болады).
- Қарпі: мәтін үшін – Times New Roman – 14 кегль;
- Пішімі А4, беттің параметрлері: сол, оң, асты және үсті жағы – 2,5 см. Абзацтық шегіну – 1,25 см. Түзілу – ені бойынша; қатар аралық интервал – 1,0 қатар.
- Кестелер мен суреттерде нөмірлері көрсетілген толық атаулары көрсетілуі тиіс. Өлшем бірліктері СИ Халықаралық бірліктер жүйесіне сәйкес болу керек.
- Мақаланың жалпы көлемі кестелер мен суреттерді, қолданылған әдебиеттерді қосқанда 4-7 беттен кем болмауы керек.
- Бөлек қағазда автор (лар) туралы мәліметтер: аты-жөні толық, ғылыми атағы, ғылыми дәрежесі, лауазымы, жұмыс орны (мекеменің немесе ұйымның атауы), толық пошталық мекен-жайы, телефон нөмірі және e-mail.
- Журналда мақаланы жарыққа шығару мүмкіндігі туралы шешім мақалаға жазылған тәуелсіз ғалымдардың екі пікірі (рецензия) және редакция алқасының бір мүшесінің ұсынымы негізінде қабылданады. Пікір беруші мақаланың ғылыми бағытына сәйкес болу керек және жарияланатын мақаланың мазмұнына, яғни теориялық маңыздылығына, тәжірибелік құндылығына және жаңа екендігіне жауапты.
- Автор бір нөмірде 2 мақаладан артық жариялауға құқы жоқ.

Recommendations

- An article (electronic version is sufficient for foreign authors) should be typed MS Word program and presented in electronic form with mandatory listing of the text.
- Font –Times New Roman - 14 pt.
- Format A4, Margins: left, right - 2,5 cm; top, bottom - 2.5 cm; Paragraph - 1.25 cm. Line spacing - 1,0.
- The tables and illustrations with their numbers and names should be given in full, the unit labeling in accordance with the International System of Units SI.
- The total volume of articles, including tables, illustrations and references of at least 4-7 pages.
- Information about the author: name, academic degree and title, place of work and position, full mailing address, telephone number, e-mail should be given on a separate sheet.
- The conclusion about the possibility of the publication of articles in the journal shall be based on two independent scientists review and recommendation by a member of the editorial board. The reviewer must comply with the scientific direction of the article and is responsible for the content of the published article, i.e., of theoretical significance, practical value of the novelty article recommender.
- The author can publish no more than two articles in the same issue.

Рекомендации авторам

- Статья должна быть набрана в программе Word и представлена в электронном варианте с обязательной распечаткой текста (для иногородних авторов достаточен электронный вариант).
- Шрифт: для текстов – Times New Roman – 14 кегль;
- Формат А4, поля : левое, правое – 2,5 см, верхнее, нижнее – 2,5 см. Абзацный отступ – 1,25 см. Выравнивание – по ширине; Междустрочный интервал – 1,0 строки.
- В таблицах и иллюстрациях с указанием их номеров все наименования следует давать полностью, единицы измерений обозначать в соответствии с Международной системой единиц СИ.
- Общий объем статьи, включая таблицы, иллюстрации и список литературы не менее 4–7 страниц.
- На отдельном листке следует привести сведения об авторе (-ах): Ф.И.О., ученая степень и звание, место работы и должность, полный почтовый адрес, номер телефона, e-mail.
- Заключение о возможности публикации статей в журнале выносится на основании 2 рецензии независимых ученых и рекомендации одного из членов редколлегии журнала. Рецензент должен соответствовать научному направлению статьи и несет ответственность за содержание публикуемой статьи, т.е. за теоретическую значимость, практическую ценность и новизну рекомендуемой статьи.
- Автор имеет право на публикацию в одном номере не более 2-х статей.

МАҚАЛАЛАРҒА ҚОЙЫЛАТЫН ТАЛАПТАР

Жалпы ережелер

- Ғылыми -педагогикалық журналдың құрылтайшысы Л.Н. Гумилев ат. Еуразия ұлттық университеті.
- Журналдың мақсаты – қолданбалы геометрия және инженерлік графика, дизайн, сәулет, құрылыс және техниканың басқа салаларының, сонымен қатар техникалық және гуманитарлық білім беру бойынша жаңа идеяларды, ғылым мен кәсіби білім берудің шешілмеген мәселелерін, жаңа дайындалған жаңалықтар мен зерттеулерді мамандарға жеткізу.
- Журналда ғылымдардың, магистранттардың, докторанттардың, өндірісшілердің және мұғалімдердің басыңқы сипаттағы және ғылыми-тәжірибелік маңызы бар ғылыми зерттеулерінің нәтижелері мен жетістіктерін жарыққа шығару. Мұнда инженерлік және компьютерлік графика, дизайн, сәулет, құрылыс және басқа техникалық ғылымдар, сабақ беру әдістемесі, жас ғалымдардың зерттеулері, магистранттардың, докторанттардың зерттеулерінің көкей-кесті проблемалары бағытындағы шолу, проблемалық және пікір талас тудыратын мақалалар, техникалық білім беру проблемалары бойынша ғылыми семинарлардың материалдары жарияланады.
- Журналда мақаланы жарыққа шығару мүмкіндігі туралы шешім мақалаға жазылған тәуелсіз ғалымдардың екі пікірі (рецензия) және редакция алқасының бір мүшесінің ұсынымы негізінде қабылданады.
- Жариялау тілі– қазақша, орысша және ағылшынша.
- Мерзімділігі – жылына 4 рет.
- Есепке алғашқы қойылған нөмірі және мерзімі - № 10761-11.03.2010.
- ҚР мәдениет және ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрағаттар Комитетінде қайта тіркелген куәлік нөмірі және мерзімі № 14168 – Ж – 18.02.2014.

REQUIREMENTS TO ARTICLES

General provisions

- The founder of the academic journal is the Eurasian National University L.N. Gumilyov.
- The purpose of the academic journal is to bring new ideas, problem questions of science and professional education, new research and development of a wide range of specialists in applied Geometry and Engineering Graphics, Design, Architecture, Construction and other engineering industries, as well as the scope of technical and humanitarian education.
- The journal highlights the results and achievements of research scientists, graduate students, doctoral students, teachers and industrialists having priority or scientific and practical significance. It publishes research articles: review, problem, discussion on topical issues of research in the following areas: Engineering and Computer Graphics, Design, Architecture, Construction and other technical sciences, pedagogy, teaching and research of young scientists, graduate students, doctoral students, as well as materials science workshops; problems of technical education, etc.
- A member of the editorial board shall make the conclusion about the possibility of the publication of articles in the journal based on two independent scientists review and recommendation.
- Publication language - Kazakh, Russian and English.
- Periodicity - four issues per year.
- Number and date of registration of the primary - №10761 - 11.03.2010.
- Number and date of registration in the Committee of Information and Archives of the Ministry of Culture of the RK information number 14168 - ZH - g 18/02/2014.

ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ

Общие положения

- Учредителем научно-педагогического журнала является Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева.
- Цель журнала – донести новые идеи, проблемные вопросы науки и профессионального образования, новые разработки и исследования широкого круга специалистов по прикладной геометрии и инженерной графике, дизайну, архитектуре, строительству и других отраслей техники, а также сферы технического и гуманитарного образования.
- В журнале освещаются результаты и достижения научных исследований ученых, магистрантов, докторантов, производственников и преподавателей, имеющих приоритетный характер или научно-практическое значение. В нем публикуются научные статьи: обзорные, проблемные, дискуссионные по актуальным проблемам исследований по следующим направлениям: инженерной и компьютерной графике, дизайну, архитектуре, строительству и другие технические науки, педагогике преподавания, исследования молодых ученых, магистрантов, докторантов, а также материалы научных семинаров; проблем технического образования и т.д.
- Заключение о возможности публикации статей в журнале выносится на основании 2 рецензии независимых ученых и рекомендации одного из членов редколлегии журнала.
- Язык публикации– казахский, русский и английский.
- Периодичность – 4 номера в год.
- Номер и дата первичной постановки на учет - № 10761-11.03.2010 г.
- Номер и дата перерегистрации в Комитете информации и архивов Министерства культуры информации РК № 14168 – Ж – 18.02.2014 г.

Мақаланың құрылымы

- ГТФХР (ғылыми-техникалық ақпараттың мемлекетаралық рубрикаторы) – сол жақ жоғарғы бұрышында.
- Автор (- лар) туралы ақпарат – аты-жөні толық, ғылыми атағы, ғылыми дәрежесі, лауазымы, жұмыс орны (мекеменің немесе ұйымның атауы); елдің атауы (жақын және алыс шетелдегі авторлар үшін), e-mail.
- Мақаланың атауы.
- Жарияланатын мақаланың андатпасы мемлекеттік, орыс және ағылшын тілдерінде болу керек. Андатпаның көлемі 5-6 сөйлем немесе 500 баспа белгілері (мәтін 1/3 бет).
- Кілт сөздері 10 сөзден аспау керек.
- Мақаланың мәтіндік бөлігі. Мақаланың мәтінде көрсетілуі тиіс: мәселенің тұжырымы; мәселенің зерттеулерін талдау; зерттеудің мақсаты мен міндеттері; материалды таныстыру және ғылыми зерттеулер нәтижелерін тұжырымдау; қорытындысы.
- Қолданылған әдебиет.

Structure of the article

- IRSTI (interstate rubricator of scientific and technical information) – placed in the upper left corner.
- Information about authors - full name, title, academic degree, position, place of work (name of institution or organization); name of the country (for foreign authors), e-mail.
- Article title
- Abstract published in Kazakh, Russian and English languages. The volume of abstract is 5-6 sentences or 500 words (1/3 page of text).
- Keywords are not more than ten words.
- The text of the article should be reported: formulation of the problem, the analysis of the research problem, the goal and objectives, the presentation of material and the study received research results conclusions.
- References.

Структура статьи

- МРНТИ (межгосударственный рубрикатор научно-технической информации) – в левом верхнем углу.
- Сведения об авторе (авторах) – ФИО полностью, ученое звание, ученая степень, должность, место работы (наименование учреждения или организации); наименование страны (для авторов ближнего и дальнего зарубежья), e-mail.
- Название статьи.
- Аннотация публикуемой статьи на государственном, русском и английском языках. Объем аннотации 5-6 предложения или 500 печатных знаков (1/3 страница текста).
- Ключевые слова не более 10 слов.
- Текстовая часть статьи. В тексте статьи должны отражаться: постановка задачи; анализ исследования проблемы; цель и задачи исследований; изложение материала и обоснования полученных результатов исследования; выводы.
- Используемая литература.

За содержание статьи ответственность несет автор

Отпечатано в типографии ЕНУ им. Л.Н. Гумилева

Выпускающий редактор

к.т.н., профессор У. Кусебаев

Технический редактор

Г. Тулеуова

Издательство ЕНУ

Научно-педагогический журнал

«Проблемы инженерной графики и профессионального образования»

№ 2 (57). - 2020. - 63 с.

Тираж - 50 экз. Заказ – 2

Дизайн

А. Аманжолова

Адрес редакции:

010000, Республика Казахстан,
г. Нур-Султан, ул. Кажымукан, 13,
ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, корпус УЛК №6, 505-кабинет.
Тел.: 8 (7172) 70-95-00 (вн. 33 506)

web сайт: <http://bulprengpe.enu.kz>

e-mail: journal.enu@gmail.com