

УДК 622.271.1

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ВОДЫ В ДРАЖНОМ РАЗРЕЗЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Кисляков В.Е., Нафиков Р.З., Вокин В.Н., Веретёнова Т.А., Бахтигузин А.А.

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, e-mail: Ravik_177@mail.ru

Рассмотрена проблема снижения производительности драг при работе в условиях отрицательных температур, которая особенно актуальна для россыпных месторождений, расположенных в условиях Крайнего Севера, где грунты промерзают на значительную глубину. В зимний период глубина промерзания грунтов может составлять несколько метров. Изучено влияние разрабатываемых мерзлых грунтов на температуру воды в дражном разрезе, а также были рассмотрены существующие методики расчета конвективного теплообмена. На основе проведенного обзора был сделан вывод, что по известным методикам проводить расчет теплообмена между грунтом и водой в дражном разрезе весьма затруднительно. Для решения этой проблемы была создана установка и проведен эксперимент. Экспериментальная установка представляет собой дражный разрез, выполненный в масштабе с соблюдением геометрического подобия. Погрешности в измерениях исключены путем изолирования установки от внешней среды теплоизолирующим материалом, в качестве которого был выбран пенопласт. В емкость устанавливаются термодатчик для определения средней температуры воды, равномерное распределение которой достигается путем непрерывного перемешивания магнитной мешалкой. В результате эксперимента получена математическая модель, позволяющая определить температуру воды в дражном разрезе с учетом обнажаемых мерзлых грунтов. Рассмотрена динамика температуры воды в условных дражных разрезах по средним данным района и выявлен коэффициент снижения температуры. Таким образом, появляется возможность эффективного обоснования продолжительности добычного сезона работы драги в течение года. Одним из решений проблемы предложено заблаговременное предохранение подготовленных к выемке песков от промерзания.

Ключевые слова: мерзлый грунт, россыпное месторождение, драга, производительность, добычный сезон, зимний период

TEMPERATURE WATER MODE IN THE DREDGE SECTION IN THE DEVELOPMENT OF FROZEN GROUNDS

Kislyakov V.E., Nafikov R.Z., Vokin V.N., Veretenova T.A., Bakhtiguzin A.A.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, e-mail: Ravik_177@mail.ru

The problem of decrease in productivity of dredges at work in the conditions of negative temperatures which is especially actual for placer deposits located in the conditions of the Far North, where ground freeze to a considerable depth, is considered. In winter, the depth of ground freezing can be several meters. The effect of the developed frozen ground on the water temperature in the dredge section has been studied, and the existing methods for calculating convective heat transfer were also considered. On the basis of the review, it was concluded that according to known methods to carry out the calculation of heat transfer between the ground and the water in the dredge section is very difficult. To solve this problem, an installation was created and an experiment was conducted. The experimental setup is a dredge incision made on a scale in compliance with the geometric similarity. Errors in the measurements are eliminated by isolating the installation from the external environment heat insulation material, which was selected as a foam. A temperature sensor is installed in the tank to determine the average temperature of the water, the uniform distribution of which is achieved by continuous stirring with a magnetic stirrer. As a result of the experiment, a mathematical model was obtained, which allows to determine the water temperature in the dredge section, taking into account the exposed frozen ground. The dynamics of water temperature in dredge sections according to the average data of the area is considered and the coefficient of temperature decrease is revealed. Thus, it becomes possible to effectively justify the duration of the mining season of the dredge operation during the year. One of the solutions to the problem proposed early protection prepared for dredging sands from freezing.

Keywords: frozen ground, placer deposit, dredge, productivity, mining season, winter period

На сегодняшний день в горнодобывающей отрасли особое внимание уделяется разработке россыпных месторождений дражным способом [1, 2]. Данный способ имеет ряд достоинств, таких как возможность ведения добычных работ в сложных гидрогеологических условиях, высокая эффективность и др. Однако в суровых климатических условиях Севера России дражный способ разработки месторождений имеет существенный недостаток – ограниченность добычного сезона. Поздней осенью, когда температура воды приближается

к температуре замерзания, происходит ее намерзание на черпаки и черпаковую раму, при этом резко снижается производительность драги.

Цель исследования: исследование влияния разрабатываемых мерзлых грунтов на температуру воды в дражном разрезе. Для исследования данного вопроса рассмотрены существующие методики расчета конвективного теплообмена [3–5]. На основе проведенного обзора был сделан вывод, что по известным методикам проводить расчет теплообмена между грунтом и водой

в дражном разрезе весьма затруднительно. Основная трудность связана с постоянно меняющимися переменными в уравнениях из-за непрерывной работы драги, изменения температуры окружающего воздуха, интенсивности солнечного излучения и других факторов.

В качестве примера рассмотрим динамику температуры воды в дражных разрезах Ленского района (Якутия) на примере водоемов этого района [6]. Годовое изменение температуры в водоемах представлено на рис. 1.

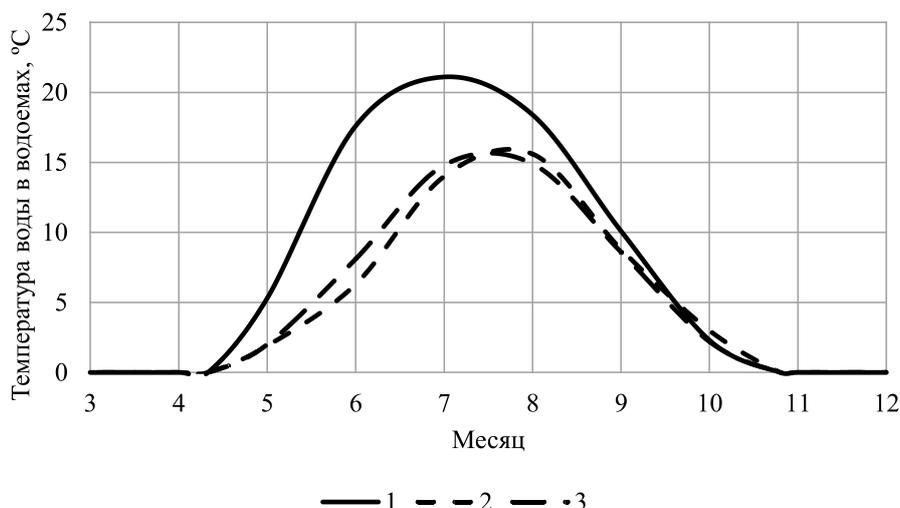


Рис. 1. Изменение температуры воды озер в течение года: 1 – оз. Тырка (54° с.ш.); 2 – оз. Большое Леприндо (56° с.ш.); 3 – оз. Ничатка (58° с.ш.)

Материалы и методы исследования

Для изучения влияния обнажаемых драгой грунтов на температуру воды в дражном разрезе был проведен эксперимент. Для этого с соблюдением геометрического подобия выполнена установка в масштабе 1:1000. В качестве моделируемого объекта принят условный дражный разрез драги с вместимостью черпаков 150 л. Основной частью установки является емкость с водой объемом $0,002 \text{ м}^3$. В емкость устанавливают термодатчик для определения средней температуры воды. Ее равномерное распределение по всему объему достигается путем непрерывного перемешивания, которого возможно достичь с помощью магнитной мешалки ММ-5 (рис. 2). Скорость вращения мешалки регулируется в пределах от 400 до 1200 об/мин.

Для исключения погрешностей в измерениях установка изолирована от внешней

среды посредством материала с низкой теплопроводностью. В качестве такого материала был выбран пенопласт. Фотографии экспериментальной установки представлены на рис. 3.

Для более наглядного представления установки ее схема показана графически на рис. 4.

Эксперименты проводились следующим образом. В емкость с водой помещался мерзлый грунт кубической формы и измерялась температура воды в течение времени. Шаг фиксации был принят равным 1 минуте. Эксперимент заканчивался, когда темпера-

тура воды переставала изменяться или изменялась незначительно. Затем заменяли образовавшуюся пульпу водой необходимой температуры и повторяли эксперимент с новым образцом грунта.



Рис. 2. Мешалка магнитная ММ-5

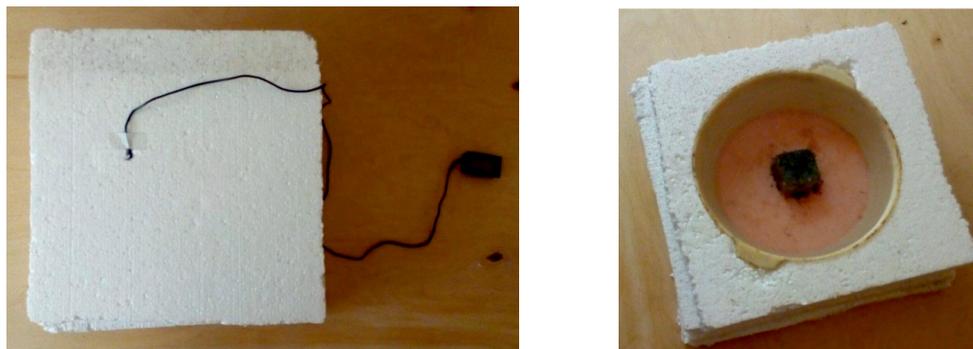


Рис. 3. Фотографии экспериментальной установки

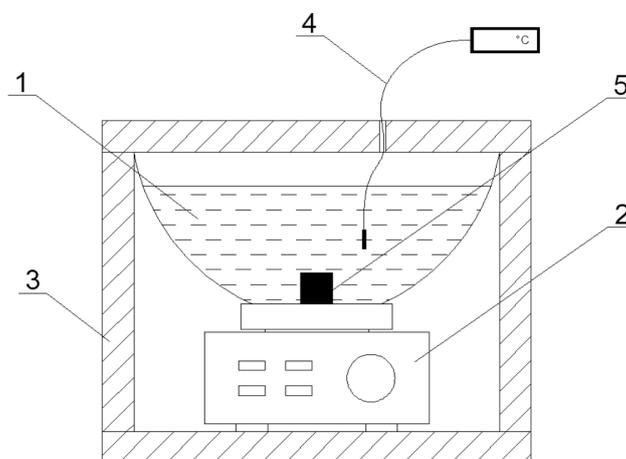


Рис. 4. Схема экспериментальной установки: 1 – емкость с водой; 2 – мешалка магнитная ММ-5; 3 – теплоизолирующий материал; 4 – термоматчик; 5 – образец мерзлого грунта

Результаты исследования и их обсуждение

Эксперименты проводились в три этапа. Первый этап был выполнен при начальной температуре воды 10 °С. Длина стороны образца грунта кубической формы принята 1, 2, 3 и 4 см. Для каждого вида образца проводилось 4 серии измерений (принимая его начальную температуру –20, –15, –10, –5 °С). Полученные результаты представлены графиками (рис. 5).

Второй и третий этап эксперимента были проведены аналогично, за исключением начальной температуры воды – 7 и 4 °С.

Следующим шагом было экспериментально доказано отсутствие значительных погрешностей, возникающих вследствие влияния окружающего воздуха на воду в установке из-за разности температур. Для этого проведены дополнительные измерения без образцов грунта. Начальная температура воды была принята 10 °С, при

этом температура окружающего воздуха составила 23 °С. Время фиксации динамики температуры воды в установке выбрано как наибольшее значение во всех проведенных экспериментах, а именно 20 мин. Результаты измерений представлены на рис. 6.

Исходя из полученных результатов, определено, что за данный период погрешность в измерениях составила 4,2%, поэтому для дальнейших расчетов ей можно пренебречь.

Далее в программной среде Microsoft Excel была получена формула определения температуры воды с учетом параметров мерзлого грунта, а также итоги регрессионной статистики (табл. 1). Полученная формула представлена ниже:

$$T_{вг} = 0,3 + T_{вн} - 12,1 \cdot P_r + 0,014 \cdot T_r - 0,174 \cdot t_p, \text{ } ^\circ\text{C},$$

где $T_{вн}$ – температура воды на начальный момент расчетов, °С; P_r – отношение объема обнажаемых грунтов k к объему воды, м³/м³; T_r – средняя температура обнажаемого грунта, °С; t_p – расчетное время, ч.

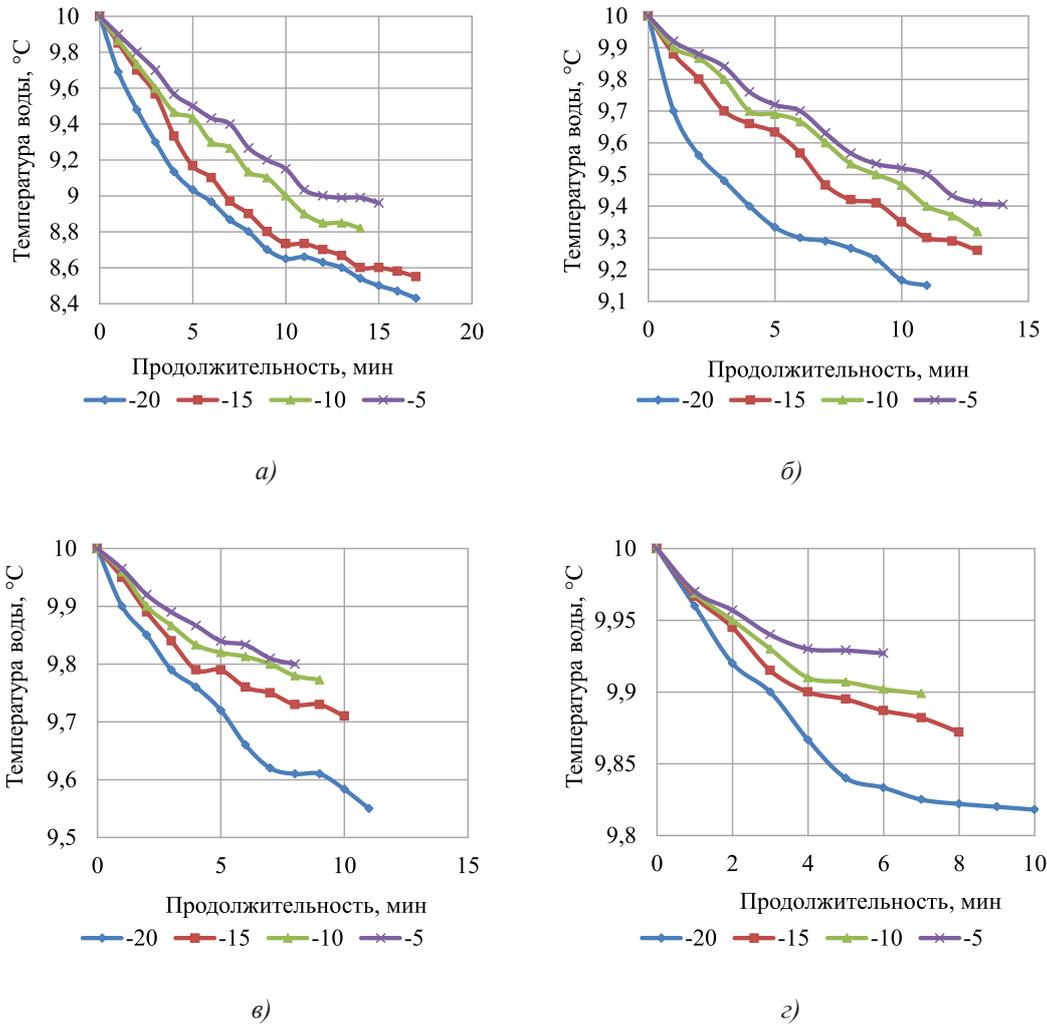


Рис. 5. Изменение температуры воды в установке в зависимости от времени измерения при наличии образцов грунта кубической формы с длиной стороны (см): а – 4, б – 3, в – 2, з – 1

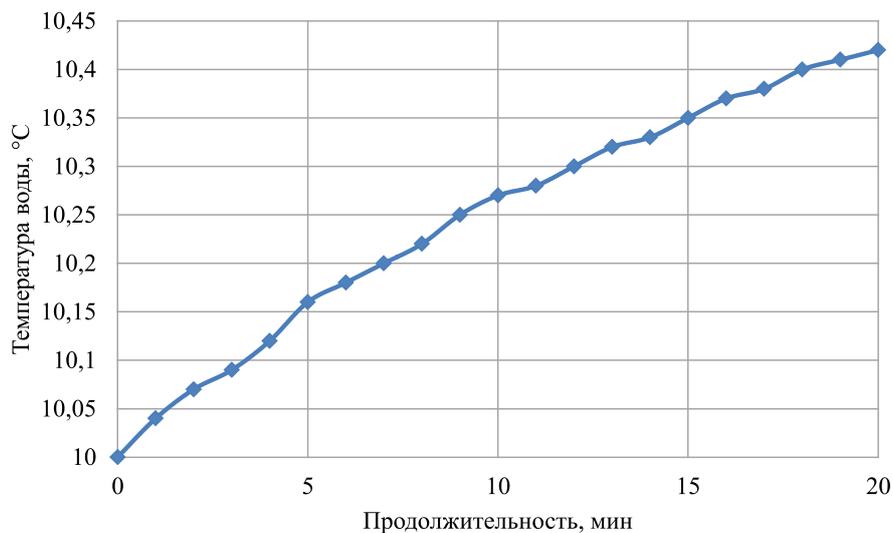


Рис. 6. Изменение температуры воды в установке

Таблица 1

Итоги регрессионной статистики

Показатели	Значение
Множественный R	0,998
R-квадрат	0,997
Нормированный R-квадрат	0,997
Стандартная ошибка	0,137
Наблюдения	644

Таблица 2

Значения коэффициента изменения температуры воды в дражном разрезе с учетом обнажаемого грунта

Месяц Драга	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
50	0,51	0,62	0,83	0,91	0,96	0,98	0,98	0,98	0,98	0,95	0,86	0,72
80	0,54	0,69	0,85	0,91	0,96	0,98	0,99	0,98	0,98	0,95	0,89	0,76
150	0,66	0,83	0,88	0,96	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98	0,92	0,83
250	0,71	0,9	0,94	0,97	0,99	0,99	1	1	0,99	0,99	0,95	0,85
380	0,72	0,92	0,96	0,98	0,99	0,99	1	1	1	0,99	0,97	0,89

Заключение

С помощью полученной математической модели, пользуясь значениями, представленными на рис. 1 и значениями температуры грунта [7, 8], определена температура воды в условных дражных разрезах, расположенных в рассматриваемом районе. Введем понятие коэффициента изменения температуры воды в дражном разрезе в зависимости от параметров обнажаемого грунта, равный отношению температуры воды в разрезе при обнажении грунтов к исходной температуре воды. Результаты представлены в табл. 2.

Следует отметить, что обнажаемый мерзлый грунт значительно снижает температуру воды в дражном разрезе, поэтому необходимо заранее предохранять подготовленные к выемке пески от промерзания. На сегодняшний день известен целый ряд таких способов, например укладка теплоизолирующих покрытий, затопление подготовленных запасов и другие.

Таким образом, полученная математическая модель дает возможность обосновать продолжительность добычного сезона работы драги в течение года. Также полученные результаты позволят скорректировать ежемесячную производительность драги, исходя из климатических условий региона.

Список литературы / References

1. Ершов В.А. Целенаправленное преобразование россыпных месторождений при дражной разработке // Горная промышленность. 2010. № 5. С. 70–72.

Ershov V.A. Purposeful transformation of alluvial deposits in dredge design // Mining industry Journal. 2010. №. 5. P. 70–72 (in Russian).

2. Кисляков В.Е., Нафиков Р.З., Катыхшев П.В. Повышение производительности драг в условиях отрицательной температуры // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2017. № 4. С. 4–9.

Kislyakov V.E., Nafikov R.Z., Katyshev P.V. Productivity increase of drag in the conditions of subfreezing temperature // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova. 2017. № 4. P. 4–9 (in Russian).

3. Гуляев В.А. Теплотехника: учебник. СПб.: «РАПП», 2009. 352 с.

Gulyaev V.A. Heat engineering: textbook. SPb.: «RAPP», 2009. 352 p. (in Russian).

4. Брюханов О.Н., Шевченко С.Н. Тепломассообмен: учебник. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2013. 464 с.

Bryukhanov O.N., Shevchenko S.N. Heat and mass transfer: a textbook. M.: NICz INFRA-M, 2013. 464 p. (in Russian).

5. Винников С.Д., Викторова Н.В. Физика вод суши: учебник. СПб.: РГТМУ, 2009. 430 с.

Vinnikov S.D., Viktorova N.V. Physics of land waters: textbook. SPb.: RGGMU, 2009. 430 p. (in Russian).

6. Протасьев М.С. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 17. Лено-Инди́гирский район. Л.: Гидрометеоздат, 1972. 651 с.

Protas'ev M.S. Surface water resources of the USSR. Volume 17. The Leno-Indigirsk district. L.: Hydrometeoizdat, 1972. 651 p. (in Russian).

7. Климат почвы и его регулирование [Электронный ресурс]. URL: http://elibrshu.ru/files_books/pdf/img-217150939.pdf (дата обращения: 24.09.2018).

Soil climate and its regulation [Electronic resource]. URL: http://elibrshu.ru/files_books/pdf/img-217150939.pdf (date of access: 24.09.2018) (in Russian).

8. Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения и эффективность их применения в климатических условиях России [Электронный ресурс]. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3685 (дата обращения: 15.10.2018).

Geothermal heat pump heating systems and the efficiency of their use in the climatic conditions of Russia [Electronic resource]. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3685 (date of access: 15.10.2018) (in Russian).