

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 1680-9165

№ 4 (2020)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ63VPY00028965

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация результатов фундаментальных и прикладных научных исследований
по широкому спектру проблем в области металлургии, машиностроения, транспорта,
строительства и естественных наук

Подписной индекс – 76129

Импакт-фактор РИНЦ – 0,344

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Гумаров Гали Сагингалиевич – д.т.н., профессор (Уральск, Казахстан);
Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Украинец Виталий Николаевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич - к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажигаева Галия Тулеуевна - к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Зарубежные члены редакционной коллегии:
Baigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Lapuerta – д.т.н., профессор (СьюДад Исаева КуралайСметкановна Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Бочкарев Петр Юрьевич – д.т.н., профессор (Саратов, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Чайкин Владимир Андреевич – д.т.н., профессор (Магнитогорск, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

МАЗМҰНЫ

Мызовская Т. И., Масакбаева С. Р.
Натрий флюоросилитарлық сапасын жақсарту 6

Масакбаева С. Р., Васильева К. В.
Техникалық алюминийдегі микроқоспалардың құрамын
талдау әдістерін салыстыру 12

Боранбаев Е. Е., Боранбаева Б. Қ.
Құбыр торы – құбыр қосылысын гидравликалық сынау..... 19

Боранбаева Б. М., Мырзагулова А. Т., Тажиев Ш. Х., Майшина Ж. Г.
Кен шикізатынан құрамында темір бар қорытпаларды өндірудің
перспективалық тәсілі 25

Қасенов А. Ж., Әбішев К. К., Быков П. О., Мұқанов Р. Б., Амеркулов А. Т.
Ауыл шаруашылық техникасын жобалау кезінде
АРМ FEM-де беріктік талдау..... 32

Жакенов М. К., Солтанова А. М.
Көлденең осьтік желэлектростанциясының тұрақтылығын талдау..... 40

**Сейтенова Г. Ж., Дюсова Р. М., Кабылкайыр Д. Н.,
Гребенкин В. В., Болсуновская Л. М.**
МӨЗ-де мотор отындарын дайындау процесін оңтайландыру 45

Смайлов Б. Ш.
Бастапқы алюминийді тазартуда борды қолдану 50

Деревягин С. И., Загозин И. В.
Қуатты мобильді гидроэлектростанциялары құрастыру және жасау 58

Буртыль Ю. В.
Жол төсемдері тегістігінің өзгеруін зерттеу 64

Омаров А. Ж., Саржанов Т. С., Мусаева Г. С.
Жол төсемесінің тұрақтылығын есептеудің кейбір мәселелері..... 71

Котова М. И., Украинец В. Н., Ыбыраева Е. М.
Серпімді жартылай кеңістіктің қуыстың
беті бойымен қозғалатын мерзімді жүктемеге реакциясы 78

Авторлар туралы ақпарат 92

Авторларға арналған ережелер..... 98

Жарияланым этикасы..... 108

СОДЕРЖАНИЕ

Мызовская Т. И., Масакбаева С. Р. Повышение качества фторсиликата натрия.....	6
Масакбаева С. Р., Васильева К. В. Сравнение методов анализа содержания микропримесей в техническом алюминии.....	12
Боранбаев Е. Е., Боранбаева Б. К. Гидравлическое испытание соединения труба-трубная решетка	19
Боранбаева Б. М., Мырзагулова А. Т., Тажиев Ш. Х., Майшина Ж. Г. Перспективный способ производства железосодержащих сплавов из рудного сырья	25
Касенов А. Ж., Абишев К. К., Быков П. О., Муканов Р. Б., Амеркулов А. Т. Прочностной анализ элементов пленкоукладчика	32
Жакенов М. К., Солтанова А. М. Анализ устойчивости ветроэнергетической установки с горизонтальной осью	40
Сейтенова Г. Ж., Дюсова Р. М., Кабылкайыр Д. Н., Гребенкин В. В., Болсуновская Л. М. Оптимизация процесса приготовления моторных топлив на НПЗ.....	45
Смайлов Б. Ш. Применение бора при рафинировании первичного алюминия	50
Деревягин С. И., Загозин И. В. Разработка и изготовление мобильной ГЭС.....	58
Буртыль Ю. В. Исследования изменения ровности дорожных покрытий	64
Омаров А. Д., Саржанов Т. С., Мусаева Г. С. Некоторые вопросы расчета устойчивости земляного полотна.....	71
Котова М. И., Украинец В. Н., Ибраева Е. М. Реакция упругого полупространства на движущуюся по поверхности полости периодическую нагрузку	78
Сведения об авторах.....	92
Правила для авторов	98
Публикационная этика	108

CONTENTS

Myzovskaya T. I., Massakbayeva S. R. Improvement of sodium fluorosilicate quality.....	6
Massakbayeva S. R., Vassilyeva X. V. Comparison of methods of analysis of the content of micro-impurities in technical aluminum.....	12
Boranbayev Ye. Ye., Boranbayeva B. K. Hydro-test of tube-tube plate joint	19
Boranbaeva B. M., Myrzagulova A. T., Tajiev Sh. Kh., Maishina J. G. A promising method for producing iron-containing alloys from ore raw materials.....	25
Kasenov A. Zh., Abishev K. K., Bykov P. O., Mukanov R. B., Amerkulov A. T. Strength analysis in APM FEM when designing agricultural machinery	32
Zhakenov M. K., Soltanova A. M. Analysis of sustainability of a horizontal axle wind power installation.....	40
Seitenova G. J., Dusova R. M., Kabylkaiyr D. N., Greibenkin V. V., Bolsunovskaya L. M. Optimization of the process of preparing motor fuels at refineries	45
Smaylov B. Sh-A. Application of boron in the refining of primary aluminum.....	50
Derevyagin S. I., Zagozin I. V. Development and production mobile hydroelectric power station	58
Burtyl Y. V. Scientific and practical research evenness highways	64
Omarov A. D., Sarzhanov T. S., Musayeva G. S. Some questions of stability calculation roadbed.....	71
Kotova M. I., Ukrainets V. N., Ibrayeva Ye. M. Elastic semispace reaction on periodic load moving over inner surface of cavity	78
Information about the author	92
Rules for authors	98
Publication ethics.....	108

<https://doi.org/10.48081/UGRM6297>**Т. И. Мызовская, С. Р. Масакбаева**Торайгыров университет,
Республика Казахстан, г. Павлодар**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ФТОРСИЛИКАТА НАТРИЯ**

В данной статье рассмотрен фторсиликат натрия, полученный содовым способом из фторокремниевой кислоты, являющейся побочным продуктом производства экстракционной фосфорной кислоты. Выяснено, что на выходе фторсиликат натрия загрязнён нерастворимым остатком и инородными включениями. Рассмотрен и предложен метод разделения продукта на фракции, как возможность повысить его качество.

Разделение продукта на фракции в лабораторных условиях позволило повысить содержание основного вещества, а также уменьшить количество водорастворимых примесей и инородных включений в готовом продукте. Чтобы добиться этого качества предлагается использовать сита с размером ячеек 0,1 мм или циклоны. Готовый продукт будет соответствовать требованиям ТУ 113-08-857-86.

Ключевые слова: фторсиликат натрия, разделение на фракции, классификация, фракционный состав, фторокремниевая кислота, экстракционная фосфорная кислота.

ВВЕДЕНИЕ

При переработке фосфатного сырья, на предприятиях по производству минеральных удобрений, для получения экстракционной фосфорной кислоты выделяется H_2SiF_6 , как побочный продукт [1]. Данную кислоту используют, как сырьё в производстве фторсиликата натрия содовым способом [2–4]. Основными стадиями, которого являются:

- нейтрализация кислоты раствором кальцинированной соды;
- отстаивание и сгущение пульпы с образованием кристаллов Na_2SiF_6 ;
- сушка сгущённой пульпы;
- абсорбционная очистка отходящих газов.

На выходе фторсиликат натрия загрязнён примесями и нерастворимым остатком [5]. Данный факт говорит о снижении качества готового продукта, т.е. об уменьшении содержания основного вещества.

Целью данной статьи является изучение возможности повышения качества фторсиликата натрия за счёт разделения продукта на фракции. Разделение на фракции позволит повысить содержание основного вещества, а также уменьшить количество примесей в готовом продукте.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для данной работы был проведён ряд химических опытов для определения массовых долей основного вещества, а также примесей в готовом продукте [6].

Чтобы определить массовую долю SiO_2 было взято 2 навески. Одну из которых титровали раствором щелочи, а вторую сначала перевели в кремнефтористоводородную кислоту, обрабатывая раствором HF (в избытке), а потом уже титровали раствором щелочи. Массовую долю свободного SiO_2 находили через разность затраченных объёмов щелочи на титрование навесок [7].

Для определения количества примесей был использован метод визуального подсчёта инородных частиц в 10–100 г готового продукта [8].

Для определения массовой доли фторокремниевой кислоты в КФВК проводили опыты по пп. 4.3 и 4.7 ТУ 2122-555-00209438-01.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Все технические характеристики выпускаемого фторсиликата натрия соответствуют ТУ 113-08-857-86 (таблица 1).

Таблица 1 – Технические характеристики фторсиликата натрия по ТУ 113-08-857-86

	Высший сорт	Первый сорт
Массовая доля кремнефтористого натрия, %, не менее	98	95
Массовая доля свободной кислоты, в пересчёте на HCl , %, не более	0,10	0,10
Массовая доля железа в пересчёте на Fe_2O_3 , %, не более	0,10	Не нормируется
Массовая доля воды, %, не более	0,5	1,0
Массовая доля мышьяка (As), %, не более	0,003	0,003
Массовая доля нерастворимого в воде остатка, %, не более	1,0	2,0
Массовая доля остатка на сите с сеткой 0063 по ГОСТ 6613–86, %, не более	40	40

В готовом продукте существует нерастворимый в воде остаток, большей частью которого является диоксид кремния. Данный остаток определяет основное содержание Na_2SiF_6 в продукте. Существует несколько основных причин, из-за которых повышено содержание данного остатка:

- качественный состав исходной кремнефтористоводородной кислоты;
- нарушение условий нейтрализации H_2SiF_6 раствором соды.

Чтобы проверить можно ли улучшить качество продукта были проведены лабораторные опыты. В данных опытах проверялась возможность улучшения качества за счёт изменения фракций.

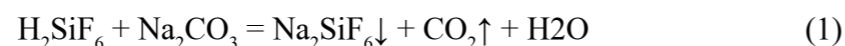
Важнейшим фактором, определяющим качество H_2SiF_6 , является молярное соотношение HF/SiF_4 .

Теоретически, по уравнению молярное соотношение должно быть равно 2. Однако, на практике кислота, получаемая при производстве ЭФК, имеет молярное соотношение, которое находится в пределах от 1,5 до 1,8. Что соответственно влияет на состав конечного продукта. Такая кислота содержит в себе два вида диоксида кремния:

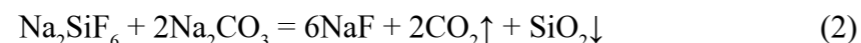
- нерастворимый SiO_2 (твёрдая фаза) – меньше 0,1 %;
- растворимый SiO_2 – 1,0–1,5 %.

Если подвергнуть нейтрализации кислоту, с молярным соотношением меньше 2, раствором соды, то растворимый SiO_2 переходит в кремнегель. Что в свою очередь, увеличивает содержание нерастворимого осадка в готовом продукте, снижая количество основного вещества Na_2SiF_6 .

Производство фторсиликата натрия содовым методом протекает по реакции:



Так же фторсиликат натрия может разложиться, в местах пересыщенных избытком соды, до SiO_2 (2).



Данная побочная реакция не желательна, так как загрязняет производственный Na_2SiF_6 [9].

Помимо диоксида кремния в готовом продукте содержатся такие частицы, как корунд или речной песок, уносимые вместе с пульпой из аппаратов кипящего слоя.

В лабораторных опытах исследовалась возможность повышения качества Na_2SiF_6 за счёт разделения его по фракциям. Для разделения использовались сита с различными размерами ячеек: 0,16, 0,1, 0,063 мм. Далее в каждой фракции определялось содержание основного вещества, нерастворимого осадка и инородных включений.

В таблице 2 приведены экспериментальные данные по содержанию основных компонентов. Было рассмотрено 4 фракции: исходный размер, больше 0,16 мм, 0,063–0,16 мм и меньше 0,063 мм.

Таблица 2 – Результаты лабораторных опытов

№ пробы	Исходный размер		Фракция с размером частиц > 0,16 мм		Фракция с размером частиц 0,063–0,16 мм		Фракция с размером частиц < 0,063 мм	
	Na_2SiF_6 , %	Нераств. остаток, %	Na_2SiF_6 , %	Нераств. остаток, %	Na_2SiF_6 , %	Нераств. остаток, %	Na_2SiF_6 , %	Нераств. остаток, %
1	99,06	0,73	99,02	0,63	99,50	0,29	99,51	0,37
2	99,00	1,00	96,10	2,49	99,34	0,41	99,85	0,12
3	98,70	0,99	82,75	16,61	97,13	2,00	99,63	0,33

4	99,43	0,41	87,3	11,63	97,58	1,99	99,45	0,42
5	98,81	0,87	95,33	4,85	96,45	3,81	99,56	0,26
Среднее	99,00	0,8	92,10	7,20	98,00	1,70	99,6	0,30

Исходя из приведённых данных видно, что уменьшая размер фракций можно добиться увеличения качества фторсиликата натрия. Чтобы достигнуть этого качества можно использовать либо сита с размером ячеек 0,1 мм или циклоны.

Состав крупной фракции (больше 0,1 мм): продукт – 10–20 %; нерастворимый остаток – 80–95 %. Данная фракция может быть использована в производстве жидкого стекла в качестве отвердителя.

ВЫВОДЫ

Таким образом, разделяя продукт на фракции, и удаляя фракции больше 0,1 мм, мы обеспечиваем более высокое качество фторсиликата натрия с повышенным содержанием основного компонента и минимальным количеством водорастворимых примесей и включений инородного происхождения, что позволяет получить продукт соответствия ТУ 113-08-857-86 [10].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Технология фосфорных и комплексных удобрений [Текст] / под ред. С. Д. Эвенчика, А. А. Бродского. – М. : Химия, 1987. – 464 с.
- 2 **Винник, М. М.** Методы анализа фосфатного сырья, фосфорных и комплексных удобрений, кормовых фосфатов [Текст] / М. М. Винник, Л. Н. Ербанова, П. М. Зайцев и [др.]. – М. : Химия, 1975. – 218 с.
- 3 Способ получения кремнефтористого натрия [Текст] : пат. 2154607 Рос. Федерация : МПК С01В 33/10
- 4 Способ получения кремнефторида натрия [Текст] : пат. 2356933 Рос. Федерация : МПК С01В 33/10
- 5 **Кочетков, В. Н.** Фосфорсодержащие удобрения [Текст] / В. Н. Кочетков. – М. : Химия, 1982. – 340 с.
- 6 **Шарипов, Т. В.** Переработка фосфоритов Каратау в гексафторосиликат натрия : дис. канд. тех. наук : 05.17.01 / Башкирский государственный университет. – Уфа, 2014. – 178 с.
- 7 Руководство по анализу в производстве фосфора, фосфорной кислоты и удобрений [Текст] / Под. ред. И. Б. Мойжес. – Ленинград : Химия, 1973. – 212 с.
- 8 **Демин, В. С.** Производство фосфоритовой муки, суперфосфата и кремнефтористого натрия [Текст] / В. С. Демин. – М. : Гос. Науч. техн. изд. хим. лит., 1955. – 192 с.
- 9 **Киселева, Е. К.** Анализ фторсодержащих соединений [Текст] / Е. К. Киселева. – М. : Химия, 1966. – 218 с.
- 10 Способ получения кремнефторида натрия [Текст] : пат. 2356835 Рос. Федерация : МПК С01В 33/10

1 Tehnologiya fosfornih i kompleksnih udobrenii [Tekst] / pod red. S. D. Evenchika, A. A. Brodskogo. [Technology of phosphoric and complex fertilizers [Text] / ed. S. D. Evenchik, A. A. Brodsky] – Moscow : Chemistry, 1987. – 464 p.

2 **Vinnik, M. M.** Metodi analiza fosfatnogo sirya_ fosfornih i kompleksnih udobrenii, kormovih fosfatov [Tekst] / M. M. Vinnik, L. N. Erbanova, P. M. Zaicev i [dr.]. [Vinnik, M. M. Methods of analysis of phosphate raw materials, phosphoric and complex fertilizers, forage phosphates [Text] / M. M. Vinnik, L. N. Erbanova, P. M. Zaitsev and others]. – Moscow : Chemistry, 1975. – 218 p.

3 Sposob polucheniya kremneforistogo natriya [Tekst] : pat. 2154607 Ros. Federaciya MPK C01B 33/10 [Method for producing sodium fluorosilicate [Text] : Pat. 2154607 Rus. Federation: IPC C01B 33/10]

4 Sposob polucheniya kremneforida natriya [Tekst] : pat. 2356933 Ros. Federaciya MPK C01B 33/10 [Method of obtaining sodium silicofluoride [Text] : Pat. 2356933 Rus. Federation : IPC C01B 33/10]

5 **Kochetkov, V. N.** Fosforsoderjaschie udobreniya [Tekst] / V. N. Kochetkov [Kochetkov, V. N. Phosphorus-containing fertilizers [Text] / V. N. Kochetkov]. – Moscow : Chemistry, 1982. – 340 p.

6 **Sharipov, T. V.** Pererabotka fosforitov Karatau v geksaforosilikat natriya : dis. kand. teh. nauk: 05.17.01. [Sharipov, T. V., Processing of Karatau phosphorites into sodium hexafluorosilicate : Dis. Cand. tech. Sciences: 05.17.01] – Ufa : Bashkir State University, 2014. – 178 p.

7 Rukovodstvo po analizu v proizvodstve fosfora_ fosfornoj kisloti i udobrenii [Tekst] / pod. red. I. B. Moijes. [Guidance on analysis in the production of phosphorus, phosphoric acid and fertilizers [Text] / under. ed. I. B. Moizhes]. – Leningrad : Chemistry, 1973. – 212 p.

8 **Demin, V. S.** Proizvodstvo fosforitovoi muki_ superfosfata i kremneforistogo natriya [Tekst] / V. S. Demin. [Demin, V. S. Production of phosphorite flour, superphosphate and sodium fluorosilicate [Text] / V. S. Demin]. – Moscow : State. Sci. tech. ed. chem. lit., 1955. – 192 p.

9 **Kiseleva, E. K.** Analiz ftorsoderjaschih soedinenii [Tekst] / E. K. Kiseleva. [Kiseleva, E. K. Analysis of fluorine-containing compounds [Text] / E. K. Kiseleva]. – Moscow : Chemistry, 1966. – 218 p.

10 Sposob polucheniya kremneforida natriya [Tekst] : pat. 2356835 Ros. Federaciya MPK C01B 33/10 [Method of obtaining sodium silicofluoride [Text] : Pat. 2356835 Rus. Federation : IPC C01B 33/10].

Материал поступил в редакцию 29.12.20.

Т. И. Мызовская, С. Р. Масакбаева

Торайғыров университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 29.12.20 баспаға түсті.

НАТРИЙ ФЛЮОРОСИЛИТАРЛЫҚ САПАСЫН ЖАҚСARTУ

Бұл мақалада экстракциялы фосфор қышқылын өндірудің жанама өнімі болып табылатын кремнийлі фторсиль қышқылынан сода әдісімен алынған натрий фторосиликаты қарастырылады. Натрий фторосиликатының шығу жолында ерімейтін қалдықпен және бөгде қоспалармен ластанғаны анықталды. Оның сапасын жақсарту мүмкіндігі ретінде өнімді фракцияларға бөлу әдісі қарастырылып, ұсынылады.

Лабораториялық жағдайда өнімді фракцияларға бөлу негізгі заттың құрамын жоғарылатуға, сонымен қатар суда еритін қоспалар мен дайын өнімге бөгде қоспаларды азайтуға мүмкіндік берді. Бұл сапаға қол жеткізу үшін 0,1 мм тор немесе циклоннан тұратын електерді пайдалану ұсынылады. Дайын өнім ТШ 113-08-857-86 талаптарына сәйкес келеді.

Кілтті сөздер: натрий фторосиликаты, фракция, жіктелуі, бөлік құрамы, кремний фторсиль қышқылы, экстракция фосфор қышқылы

T. I. Myzovskaya, S. R. Massakbayeva

Toraighyrov University,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.
Material received on 29.12.20.

IMPROVEMENT OF SODIUM FLUOROSILICATE QUALITY

This article discusses sodium fluorosilicate, obtained by the soda method from silicon fluorosilicic acid, which is a by-product of the production of extraction phosphoric acid. It was found that sodium fluorosilicate at the outlet is contaminated with an insoluble residue and foreign inclusions. The method of dividing the product into fractions as an opportunity to improve its quality is considered and proposed.

The separation of the product into fractions under laboratory conditions allowed to increase the content of the basic substance, as well as reduce the amount of water-soluble impurities and foreign inclusions in the finished product. To achieve this quality, it is proposed to use sieves with a mesh size of 0.1 mm or cyclones. The finished product will meet the requirements of TC 113-08-857-86.

Keywords: sodium fluorosilicate, fractionation, classification, fractional composition, silicon fluorosilicic acid, extraction phosphoric acid.

С. Р. Масакбаева, К. В. Васильева

Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

**СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА СОДЕРЖАНИЯ
МИКРОПРИМЕСЕЙ В ТЕХНИЧЕСКОМ АЛЮМИНИИ**

В статье анализируются распространенные методы анализа технического алюминия, в частности, фотоколориметрический, рентгеноспектральный и оптико-эмиссионный методы, а также принцип работы оборудования и их возможности. Особое внимание уделяется сравнению технико-экономических показателей различных методик, в том числе, стоимость анализа, оборудования, затраты на электроэнергию и обслуживание оборудования. В статье также определены отличия различных методов друг от друга и выбран наиболее оптимальный метод анализа в производственных условиях.

Ключевые слова: фотоколориметрический метод анализа, рентгеноспектральный метод анализа, оптико-эмиссионный метод анализа, анализ алюминия.

ВВЕДЕНИЕ

При производстве алюминия первостепенное значение в конечном итоге имеет его химический состав, который зависит прежде всего от качества используемого сырья. Обычный алюминий и его сплавы неизбежно содержат примеси, которые имеют различное происхождение. Они могут попадать из руды, могут входить в металл в процессе электролиза и не всегда полностью удаляются в процессе производства и рафинирования первичного алюминия.

Объемы производства алюминия ежегодно возрастают, а значит и возрастает необходимость разработки более быстрых и точных методов анализа алюминия. Именно поэтому, очень важно оперативно и качественно выполнять анализ химического состава алюминия.

Современные технологии наряду с традиционными методиками анализа химического состава материалов позволяют вывести контроль качества металлургической продукции на более высокий уровень. Правильный выбор метода анализа материала может сыграть ключевую роль в повышении эффективности производства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования алюминия могут применяться физико-химические и физические методы анализа. К физико-химическим методам анализа – спектрофотометрия, хромотография, к физическим – атомно-абсорбционная, атомно-эмиссионная спектроскопия и рентгенофлуоресцентный анализ.

Согласно ГОСТ 11069–2001 одним из методов, по которому можно определять химический состав алюминия является фотометрический метод. Кремний, железо, ванадий и галлий в алюминии можно определить фотометрическим методом по ГОСТ 12697.1–77 «Алюминий Методы определения ванадия», ГОСТ 12697.6–77 «Алюминий. Метод определения кремния», ГОСТ 12697.7–77 «Алюминий. Методы определения железа», ГОСТ «12697.13–90 Алюминий. Методы определения галлия».

Для дальнейшей работы нами были выбраны следующие методы анализа: фотометрический, рентгено-флуоресцентный, оптико-эмиссионный.

Фотометрические методы характеризуются высокой чувствительностью, достаточной точностью, простотой и доступностью [1, с. 79].

Основные требования фотометрического анализа – это достаточная интенсивность окраски исследуемых растворов, обеспечивающая надежное определение микрокомпонентов, т.е. низкий предел обнаружения вещества и контрастность реакции. Последнее свойство определяется разностью положения полос поглощения исходных веществ и продуктов реакции [2, с. 64].

Основными параметрами фотометрического определения являются длина волны, при которой производится измерение, толщина кюветы и концентрация светопоглощающего вещества. Существенное влияние оказывают различные химические факторы, связанные с полнотой и условиями протекания фотометрической реакции.

В зависимости от свойств анализируемой системы и характеристик применяемого фотометрического прибора выбирают условия анализа, обеспечивающие его высокую надежность и воспроизводимость результатов.

Одним из наиболее эффективных методов анализа, позволяющих за минимальный период времени получить наиболее полную и достоверную информацию об элементном составе сложных образцов независимо от их агрегатного состояния и происхождения, является рентгенофлуоресцентная спектрометрия.

Рентгенофлуоресцентные спектрометры – приборы, предназначенные для анализа элементного состава материала. Их основные достоинства – широкий спектр анализируемых материалов (как металлов и сплавов, так и неметаллических материалов), скорость проведения анализа, минимальная пробоподготовка и удобство в эксплуатации. Например, по металлургической цепочке анализировать можно практически все, начиная от руды и вспомогательных материалов (кокс, огнеупорные материалы и т.д.) и заканчивая готовой продукцией. Метод рентгенофлуоресцентного анализа абсолютно неразрушающий, поэтому может эффективно применяться для анализа готовой продукции в машиностроении.

Оптический эмиссионный спектральный анализ (ОЭСА) – один из наиболее распространенных методов анализа элементного состава материалов. Важнейшие достоинства ОЭСА – его быстрота (экспрессность) наряду с высокой точностью и низкими пределами обнаружения, низкая себестоимость, простота пробоподготовки [4, 5].

Принцип действия оптического эмиссионного спектрометра достаточно прост. Он основан на том, что атомы каждого элемента могут испускать свет определенных длин волн – спектральные линии, причем эти длины волн разные для разных элементов. Для того чтобы атомы начали испускать свет, их необходимо возбудить – нагреванием, электрическим разрядом, лазером или каким-либо иным способом. Чем больше атомов данного элемента присутствует в анализируемом образце (пробе), тем ярче будет излучение соответствующей длины волны.

Оптико-эмиссионная спектрометрия позволяет проводить достаточно полный и точный анализ материалов. Эмиссионные спектрометры могут быть настроены для анализа как чистых металлов, так и любых групп сплавов, в том числе сложных и многоосновных [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Нами был проведен проанализированы основные технико-экономические показатели анализа алюминия различными методами. Данные обработаны и приведены в таблице 1.

В производственных масштабах количество проб алюминия значительно, поэтому использование физико-химических методов анализа становится невозможным, в связи с тем, что на их выполнения затрачивается большое количество времени.

Таблица 1 – Сравнение технико-экономических показателей методов анализа алюминия

Показатель	Фотометрический метод анализа	Рентгено-флуоресцентный метод анализа	Оптико-эмиссионный метод анализа
Время, затраченное на пробоподготовку, анализ и выдачу результата	более шести часов	20 минут	7 минут
Количество человек, выполняющих анализ	2 человека	1 человек	1 человек
Затраты на электричество	Не является энергоемким, не требует большого времени для стабилизации работы	Энергоемкое, необходимо присоединение дополнительного охладителя и кондиционера, стабилизатора напряжения, требует круглосуточной работы в связи с необходимостью времени работы на стабилизацию	Энергоемкое, необходимо присоединение кондиционера и стабилизатора напряжения, требует круглосуточной работы в связи с необходимостью времени работы на стабилизацию
Затраты на техническое обслуживание и ремонт	Запасные части в дешевом ценовом сегменте, не требует дополнительной квалификации персонала для обслуживания	Запасные части в дорогом ценовом сегменте. Требуется дорогостоящего обслуживания сервисного инженера раз в год	Запасные части в дорогом ценовом сегменте. Требуется дорогостоящего обслуживания сервисного инженера раз в год

Затраты на стандартные образцы	Для анализа необходима алюминиевая стружка, стандартные образцы расходуются в течение года	Анализ не разрушающий, образец может быть использован в течение длительного времени	В процессе анализа остаются следы от обжига, необходимо постоянно перетачивать образец. Расходуется в течение полугода.
Стоимость оборудования	1,5 тыс. дол. США	250 тыс. дол. США	200 тыс. дол. США

Среднее время в стандартных режимах анализа на рентгенофлуоресцентных и искровых оптико-эмиссионных спектрометрах соизмеримо. Разница становится весьма заметна в режиме измерения малых концентраций, в этом режиме у рентгенофлуоресцентных анализаторов время анализа может увеличиваться с десятков секунд до нескольких минут, в то время как время анализа у искровых спектрометров остается прежним – 20 секунд на одно измерение, 1,5–2 минуты полный анализ.

Согласно ГОСТов на методы оптико-эмиссионного спектрального анализа металлов и сплавов анализируемые образцы должны быть в виде однородных монолитов без каких-либо полостей и включений, свободными от окарины, окислов, масляных и иных загрязнений, соизмеримы по размеру со стандартными образцами по которым проводилась калибровка спектрометра. Требование к размерам обусловлено некоторым нагревом образцов искровым разрядом. В случае анализа тонких лент (фольг) или проволок энергия разряда способна перегреть или оплавить анализируемый образец, что приведет к серьезному искажению результатов.

ВЫВОДЫ

В условиях производства наиболее ценным ресурсом является время, потраченное на выполнение анализа готовой продукции, так как это обуславливает своевременную выдачу сертификатов на продукцию и отгрузку. Задержки во время анализа влекут за собой многомиллионные потери из-за простоев транспортной техники и заполнения складов. Таким образом, при изучении всех методик определено, что наиболее оптимальным является оптико-эмиссионный анализ, так как во-первых он характеризуется наименьшими затратами по времени, а во-вторых по сравнению с фотоколориметрическим методом необходимо меньшее количество работников для выполнения анализов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Физико-химические методы анализа [Текст] / А. К. Бабко, А. Т. Пилипенко, И. В. Пятницкий, О. П. Рябушко. – М. : Высшая школа, 1968. – 257 с.

2 Степанова, Р. Ф. Использование компьютерных технологий в практике количественного анализа. Потенциометрический и фотометрический методы [Текст] / Р. Ф. Степанова. – Самара : Самарский университет, 2003. – 154 с.

3 **Тхоржевский, В. П.** Автоматический анализ химического состава газов [Текст] / В. П. Тхоржевский. – М. : Химия, 1969. – 324 с.

4 **Петров, В. И.** Оптический и рентгено-спектральный анализ [Текст] / В. И. Петров. – М. : Металлургия, 1973. – 286 с.

5 **Моррисон, Дж.** Физические методы анализа следов элементов / Дж. Моррисон [Текст]; ред. : И. П. Алимарин. – М. : Мир, 1967. – 416 с.

6 Correction of matrix effects in quantitative elemental analysis with laser ablation optical emission spectrometry / C. Chaléard, P. Mauchien, N. Andre, J. Uebbing, J. L. Lacour, C. Geertsen // Journal of Analytical Atomic Spectrometry. – 1997. – № 12. – С. 183–188.

7 ГОСТ 3221–85. Алюминий первичный. Методы спектрального анализа. – М. : Издательство стандартов, 1985. – 14 с.

8 ГОСТ 11069–2001. Алюминий первичный. Марки. – М. : Стандартинформ, 2008. – 7 с.

9 ГОСТ 12697.1–77. Алюминий. Методы определения ванадия. – М. : Стандартинформ, 2008. – 27 с.

10 ГОСТ 12697.6–77 Алюминий. Метод определения кремния. – М. : Стандартинформ, 2008. – 29 с.

11 ГОСТ 12697.7–77 Алюминий. Методы определения железа. – М. : Стандартинформ, 2008. – 21 с.

12 ГОСТ 12697.13–90 Алюминий. Методы определения галлия. – М. : Стандартинформ, 2008. – 24 с.

REFERENCES

1 Fiziko_himicheskie metodi analiza [Tekst] / A. K. Babko, A. T. Pilipenko, I. V. Pyatnickii, O. P. Ryabushko. [Physico-chemical methods of analysis [Text] / A. K. Babko, A. T. Pilipenko, I. V. Pyatnitsky, O. P. Ryabushko]. – М. : Higher school, 1968. – 257 p.

2 **Stepanova, R. F.** Ispolzovanie kompyuternih tehnologii v praktike kolichestvennogo analiza. Potenciometricheskii i fotometricheskii metodi [Tekst] / R. F. Stepanova. [Stepanova, R. F. Use of computer technologies in the practice of quantitative analysis. Potentiometric and photometric methods [Text] / R. F. Stepanova]. – Samara : Samara University, 2003 – 154 p.

3 **Thorjevskii, V. P.** Avtomaticheskii analiz himicheskogo sostava gazov [Tekst] / V. P. Thorjevskii. [Tkhorzhevsky, V. P. Automatic analysis of the chemical composition of gases [Text] / V. P. Tkhorzhevsky]. – М. : Chemistry, 1969. – 324 p.

4 **Petrov, V. I.** Opticheskii i rentgeno_spektralnii analiz [Tekst] / V. I. Petrov. [Petrov, V. I. Optical and X-ray spectral analysis [Text] / V. I. Petrov]. – М. : Metallurgy, 1973. – 286 p.

5 **Morrison, Dj.** Fizicheskie metodi analiza sledov elementov [Tekst] / Dj. Morrison; red. : I. P. Alimarin. [Morrison, J. Physical methods of analysis of trace elements [Text] / J. Morrison; ed. : I. P. Alimarin]. – М. : Mir, 1967. – 416 p.

6 Correction of matrix effects in quantitative elemental analysis with laser ablation optical emission spectrometry / C. Chaléard, P. Mauchien, N. Andre, J. Uebbing, J. L. Lacour, C. Geertsen // Journal of Analytical Atomic Spectrometry. – 1997. – № 12. – P. 183–188.

7 ГОСТ 3221–85. Алюминий первичный. Методы спектрального анализа. [ГОСТ 3221–85. Primary aluminum. Methods of spectral analysis]. – М. : Publishing house of standards, 1985. – 14 p.

8 ГОСТ 11069–2001. Алюминий первичный. Марки. [ГОСТ 11069-2001. Primary aluminum. Grades]. – М.: Стандартинформ, 2008. – 7 p.

9 ГОСТ 12697.1–77. Алюминий. Методы определения ванадия. [ГОСТ 12697.1–77. Aluminium. Methods for determination of vanadium] – М. : Стандартинформ, 2008. – 27 p.

10 ГОСТ 12697.6–77 Алюминий. Метод определения кремния. [ГОСТ 12697.6–77 Aluminium. Method for determination of silicon]. – М. : Стандартинформ, 2008. – 29 p.

11 ГОСТ 12697.7–77 Алюминий. Методы определения железа. [ГОСТ 12697.7–77 Aluminium. Method for the determination of iron]. – М. : Стандартинформ, 2008. – 21 p.

12 ГОСТ 12697.13–90 Алюминий. Методы определения галлия. [ГОСТ 12697.13–90 Aluminium. Methods for the determination of gallium]. – М. : Стандартинформ, 2008. – 24 p.

Материал поступил в редакцию 29.12.20.

С. Р. Масакбаева, К. В. Васильева

Торайғыров университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 29.12.20 баспаға түсті.

ТЕХНИКАЛЫҚ АЛЮМИНИЙДЕГІ МИКРОҚОСПАЛАРДЫҢ ҚҰРАМЫН ТАЛДАУ ӘДІСТЕРІН САЛЫСТЫРУ

Мақалада техникалық алюминийдің жалпы талдау әдістері, атап айтқанда фотоколориметрлық, рентгеноспектрлық және оптикоэмиссиялық әдістер, сонымен қатар жабдықтың жұмыс принципі және олардың мүмкіндіктері қарастырылған. Әр түрлі әдістердің техника – экономикалық көрсеткіштерін, оның ішінде талдау құны, жабдықтар энергия шығындары мен жабдықты ұстау шығындарын салыстыруға ерекше көңіл бөлінеді. Мақалада сонымен қатар әртүрлі әдістердің бір-бірінен айырмашылығы анықталады және өндірістік жағдайда ең оңтайлы талдау әдісі таңдалған.

Кілтті сөздер: фотоколориметриялық талдау әдісі, рентгендік спектрлік талдау әдісі, оптикалық шығарындыларды талдау әдісі, алюминий анализі.

S. R. Massakbayeva, X. V. VassilyevaToraighyrov University,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.
Material received on 29.12.20.**COMPARISON OF METHODS OF ANALYSIS OF THE CONTENT
OF MICRO-IMPURITIES IN TECHNICAL ALUMINUM**

The article analyzes the common methods of analysis of technical aluminum, in particular, photocolometric, X-ray spectral and optical emission methods, as well as the principle of operation of the equipment and their capabilities. Particular attention is paid to comparing technical and economic indicators of various methods, including the cost of analysis, equipment, the cost of electricity and equipment maintenance. The article also identifies the differences between various methods from each other and selects the most optimal analysis method in a production environment.

Keywords: photocolometric analysis method, X-ray spectral analysis method, optical emission analysis method, aluminum analysis.

ГРНТИ 55.39.31

<https://doi.org/10.48081/BHGO1953>**Е. Е. Боранбаев¹, Б. К. Боранбаева²**¹ТОО «КАР Technology», г. Павлодар, Республика Казахстан;²ТОО «KLPE», г. Павлодар, Республика Казахстан**ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ИСПЫТАНИЕ СОЕДИНЕНИЯ
ТРУБА-ТРУБНАЯ РЕШЕТКА**

Рассмотрены классические методы проведения гидравлических испытаний соединения труба-трубная решетка. Выявлены и рассмотрены достоинства и недостатки этих методов. Предложены способы ускоренных испытаний плотности и прочности, позволяющих прогнозировать работу новых неразъемных соединений при их эксплуатации. Проведение гидравлических испытаний – это необходимая мера, позволяющая судить о качестве и надежности работы оборудования в дальнейшем для принятия соответствующих мер. В процессе проверки оборудование тестируется на прочность проверочным давлением, которое обычно устанавливается больше рабочего на 15–20 %. Проверочное давление рассчитывается отдельно и используется при проверке как после изготовления, так и во время регулярных плановых проверок. Таким образом проверяется надежность соединения труба-трубная решетка, а также расширение труб под воздействием давления.

Ключевые слова: гидравлические испытания, коррозия, теплообменный аппарат, труба.

ВВЕДЕНИЕ

Герметичность, особенно при работе с горючими, взрывоопасными, токсичными средами при высоких температурах и давлениях, является одной из важнейших эксплуатационных характеристик теплообменного аппарата.

Отсутствие информации о сроке межремонтного пробега влечет за собой появление внештатных ситуаций, приводящих к дополнительному количеству дорогостоящих операций. Устранение протечек сопровождается глушением изношенных труб с обеих сторон металлическими пробками (не более 15% от общего числа закрепленных труб) [2].

Допустим, если пучок содержит 500 труб возможное количество забитых труб составляет 75 штук. При сроке межремонтного пробега аппарата в 24 месяца возможны его остановки каждые 9 дней, сопровождающиеся дополнительными операциями и сопутствующими расходами на материалы, транспорт, заработную плату, монтаж-демонтаж, энергетику и так далее [3].

Все это говорит о том, что избежать употребления большого количества дорогостоящих операций при устранении каждой протечки можно только на

стадии закрепления труб в отверстиях трубных решеток на заводе-изготовителе. В реальных условиях это возможно только при переходе от применяемой технологии закрепления труб к новой, основанной технологии продольно-прессового локализованного закрепления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Унифицированные размеры, как труб, так и отверстий трубных решеток на участке закрепления, а также использование только двух инструментов (вальцовки и дорна) на стадиях закрепления позволяет говорить об одинаковых внутренних диаметрах развальцованных труб и, следовательно, относительно одинаковых прочностных характеристиках всех соединений, полученных по предложенной технологии [4].

Соединение труб с трубными решетками по новой технологии осуществляется общепринятой механической вальцовкой и дерном. Использование унифицированных труб с законцовками строго определенного размера, а также особого профиля законцовок труб и отверстий трубных решеток позволяет производить закрепление локализованной деформацией. Эксперименты, имитирующие закрепление труб в трубных отверстиях по предложенной технологии, показали полное заполнение предусмотренных канавок, отсутствие течения материала в осевом направлении, наличие сдвиговой деформации. Все эти явления предполагают высокую гарантированную плотность полученного неразъемного соединения.

При испытаниях герметичности теплообменных аппаратов в настоящее время применяют различные методы и средства контроля, позволяющие выявить утечки: гидравлические, пневматические, вакуумные испытания, массо-спектрометрический метод контроля гелиевыми течеискателями.

Область применения методов контроля герметичности определяется их чувствительностью, производительностью, себестоимостью, безопасностью [5]. Чувствительность метода контроля - это наименьшая утечка контрольного вещества (жидкости или газа), надежно регистрируемая средствами контроля, которые применяют при данном методе. Если чувствительность выбранного метода ниже заданной степени герметичности теплообменника, то в процессе контроля ряд течей не выявляют, что приводит к снижению работоспособности аппарата. Необоснованное завышение чувствительности метода резко увеличивает трудоемкость и себестоимость изготовления теплообменника. Чувствительность метода должна не менее чем в 2 раза превышать заданную степень герметичности теплообменника.

При испытаниях герметичности теплообменников в настоящее время применяют разнообразные методы и средства контроля, позволяющие выявлять утечки от 1 см³ за сутки (гидроиспытания) до 0,02 см³ за год (масс-спектрометрический метод контроля гелиевыми течеискателями) [6].

Технология гидравлических испытаний заключается в создании пробного давления внутри аппарата рабочей средой (водой). Выдержки его под этим давлением в течение 5 мин, снижении давления до рабочего и осмотра, по результатам которого дают оценку испытанию.

Таблица 1 – Значения пробного гидравлического давления по нормативной документации

Рабочее давление, МПа	0,07÷0,5	0,5 и более
Пробное давление, МПа	0,2<1,5 pp	0,3+pp<1,25 pp

Выдержка более 5 мин, а также более высоким давлением не допускается во избежание возникновения дефектов, которые впоследствии могут развиваться до опасных размеров и привести к снижению качества аппарата.

Аппарат считается герметичным, если при испытании утечка из него не обнаружена.

Чувствительность метода гидроиспытаний довольно низкая. При измерении падения давления манометром, подключенным непосредственно к испытываемому аппарату, прибор, регистрирующий полное давление в аппарате, практически не чувствителен к его малым колебаниям и на измерение утечек для повышения чувствительности затрачивается много времени. При длительном измерении на точность результатов влияют колебания температуры окружающей среды. При малых сквозных дефектах скорость испарения воды с поверхности аппарата превышает скорость её истечения через имеющиеся в аппарате неплотности [7].

Чувствительность метода гидроиспытаний можно существенно повысить добавлением в воду люминофора, который при выходе воды через сквозные дефекты остается на поверхности аппарата и под действием ультрафиолетового облучения создается светящийся ореол вокруг дефекта. При испарении воды для обнаружения дефектов достаточно увлажнить поверхность контролируемого изделия. Для повышения чувствительности метода в контрольное вещество (воду) добавляют специальные присадки, снижающие поверхностное натяжение воды и увеличивающие её проникающую способность; при этом по смачивающим свойствам вода приближается к бензину. Чувствительность этого метода довольно высока.

Гидравлическим испытаниям подвергают отдельно трубное (распределительную камеру и крышки кожуха или плавающую головку) и межтрубное (корпус и трубный пучок) пространства. При этом трубный пучок подвергается испытаниям дважды. Герметичность узлов крепления труб в решетке обычно контролируют при испытаниях межтрубного пространства, так как в этом случае указанные узлы находятся в наиболее неблагоприятных условиях нагрузки и доступны для осмотра.

После испытания межтрубного пространства и устранения, обнаруженных дефектов (подвальцовки соединений, давших течь, замены дефектных труб т.д.) устанавливают распределительные камеры и крышки и подвергают испытанию трубное пространство. Для теплообменных аппаратов с плавающей головкой повторно испытывают межтрубное пространство после установки крышки кожуха.

Довольно сложная проблема – испытание герметичности вальцовочных соединений внутренней трубной решетки в теплообменных аппаратах со сдвоенными трубными решетками. Для этой цели после развальцовки труб в обеих решетках создают давление воды в дренажной полости между сдвоенными решетками и фиксируют течь по появлению капель на бумажном экране, установленном у открытого люка в нижней части корпуса аппарата. Если размеры штуцера (люка) обеспечивают доступ внутрь

корпуса, то район расположения дефектного соединения обнаруживают визуальным осмотром с помощью переносной лампы. При устранении течи приходится повторно развальцовывать либо все трубы, либо довольно значительное их число, так как точное определение района течи весьма затруднительно. Чувствительность такого метода контроля герметичности весьма низкая.

Известен качественный способ испытаний вальцовочных соединений на плотность с использованием керосина. Основными проблемами известного способа испытаний являются установление только качественной стороны контакта между соединенными поверхностями, необходимость удаления смазки с лицевой поверхности решетки, сложности с нанесением керосина на её тыльную поверхность. Все эти проблемы наряду с дороговизной операций существенно ограничивают масштабы применимости данного способа испытаний [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Перечисленные способы испытаний не дают информации о добротности вальцовочного соединения при работе на заданных эксплуатационных параметрах теплообменного аппарата, определяемой сроком гарантированного межремонтного пробега, зависящего от скорости коррозии металла трубы в большей степени на её внутренней поверхности, величинами осевых нагрузок, рабочей температурой и так далее. Также при данных испытаниях не учитывается влияние коррозии – основного нарушителя герметичности неразъёмных соединений, приводящие к выходам из строя всей технологической установки. Испытания проводятся на отдельных образцах, имитирующих реальное соединение, что не дает информации, что не дает информации о долговечности всего трубного пучка. Главным фактором неприменимости существующих испытаний плотности неразъёмных соединений с повышенными прочностными характеристиками является невозможность оценить ресурс их надежной работы.

На основании техпроцесса локализованного продольно-прессового образования неразъёмного соединения и закона распределения остаточных напряжений по объёму закреплённой трубы весьма необходима разработка способов ускоренных испытаний плотности и прочности, позволяющих прогнозировать работу новых неразъёмных соединений при их эксплуатации.

Данные испытания основываются на способе гидравлических испытаний неразъёмных соединений на плотность, который учитывает влияние таких параметров, как: величина осевого усилия на плавающей трубной решетке, давление рабочей жидкости, температура, достигаемая при работе аппарата 400 °С и ведущая к изменению размеров, вибраций, приводящие к локальной деформации по поверхности соединения элементов знакопеременной нагрузки, вызывающие выдергивание трубы [9]. Существующая технология этого не предусматривает. Коррозия в отдельных соединениях вызывает перераспределение напряжений, поэтому нужно иметь информацию о долговременных характеристиках полученных соединений. Используя полученные результаты, предлагается дополнить базовый способ гидроиспытаний постадийным снятием внутренних слоев трубы, имитируя, таким образом, действие

коррозии, при условии, что коррозия не всегда распространяется сплошной поверхностью, часто проявляясь пятнами, равномерное срезание толщины стенки трубы в данном случае только усугубляет её воздействие.

ВЫВОДЫ

Основной целью применения новых методов гидроиспытаний стала возможность определения срока надежной работы теплообменного аппарата. Зная максимальную величину срезаемой толщины стенки t , до которой не выявляются протечки, и скорость коррозии $V_{корр}$ металла трубы при относительно малых рабочих температурах, можно определить срок гарантированного межремонтного пробега.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Краснов, В. И., Максименко, М. З.** Ремонт теплообменников. – М. : «Химия», 1990. – 104 с.
- 2 **Каспарьянс, К. С. и др.** Процессы и аппараты для объектов промышленной подготовки нефти и газа. – М. : Недра, 1997. – 254 с.
- 3 **Криворот, А. С.** Конструкции и основы проектирования машин и аппаратов химической промышленности. – М. : Машиностроение, 1992. – 400 с.
- 4 Отраслевой стандарт 26-02-1015-85. Крепление труб в трубных решетках. – М. : Министерство химического и нефтяного машиностроения, 1985. – 27 с.
- 5 **Юзик, С. И.** Развальцовка труб в судовых теплообменных аппаратах. – Л. : Судостроение, 1978. – 144 с.
- 6 **Ткаченко, Г. П., Бриф, В. М.** Изготовление и ремонт кожухотрубчатой теплообменной аппаратуры. – М. : Машиностроение, 1980. – 160 с.
- 7 **Дорошенко, П. А.** Технология производства судовых парогенераторов и теплообменных аппаратов. – Л. : Судостроение, 1972. – 360 с.
- 8 ОСТ 26-17-01-83. Аппараты теплообменные и аппараты воздушного охлаждения. Стандартные технические требования к развальцовке труб с ограничением крутящего момента. – М. : Издательство стандартов, 1984, 36 с.
- 9 Патент RU № 2195638 С2, кл. В 21 D 39/06, 53/08. Способ гидравлических испытаний на плотность вальцовочных соединений 137 НИИ. /Батраев Г. А., Козий С. И., Козий С. С/ по заявке 2001104053, бюл. №36 от 27.12.02.
- 10 Патент RU № 2195639 С2, кл. В 21 D 39/06, 53/08. Способ гидравлических испытаний на плотность вальцовочных соединений. / Батраев Г. А., Козий С. И., Козий С. С/ по заявке 2001104059, бюл. №36 от 27.12.02.
- 11 Патент RU № 2195640 С2, кл. В 21 D 39/06, 53/08. Способ гидравлических испытаний на плотность вальцовочных соединений. / Батраев Г. А., Козий С. И., Козий С. С/ по заявке 2001104797, бюл. №36 от 27.12.02.

Материал поступил в редакцию 29.12.20.

Е. Е. Боранбаев¹, Б. Қ. Боранбаева²

¹«KAP Technology» ЖШС,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;
²«KAP Technology» ЖШС»,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 29.12.20 баспаға түсті.

ҚҰБЫР ТОРЫ – ҚҰБЫР ҚОСЫЛЫСЫН ГИДРАВЛИКАЛЫҚ СЫНАУ

Құбыр торына-құбыр қосылысына гидравликалық сынақтар жүргізудің классикалық әдістері қаралды. Осы әдістердің артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды және қаралды. Оларды пайдалану кезінде жаңа ажыратылмайтын қосылыстарының жұмысын болжауға мүмкіндік беретін тығыздық пен беріктікті есептеу сынау тәсілдері ұсынылды. Гидравликалық сынақтарды жүргізу – бұл алдағы уақытта тиісті шаралар қабылдау үшін жабдық жұмысының сапасы мен сенімділігі туралы айтуға мүмкіндік беретін қажетті шара. Тексеру барысында жабдық әдетте жұмыс қысымынан 15–20 %-ке көп орнатылатын тексеру қысымымен беріктікке тестіден өтеді. Тексеру қысымы бөлек есептеледі және тексеру кезінде дайындағаннан кейін де, тұрақты жоспарлы тексеріс кезінде де пайдаланылады. Осылайша, құбыр торы-құбыр қосылысының сенімділігі, сондай-ақ қысым әсерінен құбырларды кеңейту тексеріледі.

Кілтті сөздер: гидравликалық сынақтар, коррозия, жылу алмасу аппараты, құбыр.

Ye. Ye. Boranbayev¹, B. K. Boranbayeva²

¹LLP «KAP Technology»,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar;
²LLP «KLPE»,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.
Material received on 29.12.20.

HYDRO-TEST OF TUBE-TUBE PLATE JOINT

Classic hydro-test methods for tube-tube plate joint performance test are reviewed. Advantages and disadvantages of these methods are identified and reviewed. There are methods proposed to accelerate tightness and strength tests to forecast the operation of new fixed joints in their operation. Carrying out of hydraulic tests is a necessary measure to assess quality and reliability of equipment operation in future for taking appropriate measures. In the process of testing the equipment is tested for strength by test pressure, which is usually set at the level exceeding operating pressure for 15–20%. The test pressure is estimated separately and is used both after manufacturing and during regular scheduled inspections. In this way, the reliability of the tube-tube plate joint is tested, as well as the expansion of the tube under pressure.

Keywords: hydraulic tests, corrosion, heat exchanger, tube.

МРНТИ 53.31.23

<https://doi.org/10.48081/VTUX4454>**Б. М. Боранбаева, А. Т. Мырзагулова, Ш. Х. Тажиев, Ж. Г. Майшина**

Карагандинский технический университет,
Республика Казахстан, г. Караганда

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ СПЛАВОВ ИЗ РУДНОГО СЫРЬЯ

В данной статье речь идет о получении железосодержащих сплавов безуглеродным способом. Статья посвящена теоретическим, технологическим и экологическим вопросам металлургии, как наиболее значимой отрасли мировой экономики, где одним из главных проблем является загрязнение атмосферы и, соответственно, воздуха. Рассмотрены различные процессы получения металла. Поскольку традиционная технология производства металлов основана на углетермическом восстановлении, экологически вредно отражающемся на окружающей среде. Особое внимание обращается на технологию получения железа безуглеродным способом.

Основной проблемой производства железосодержащих сплавов следует считать выделения в колоссальных объемах оксидов углерода в процессе восстановления рудных минералов. Оксиды углерода вместе с другими отходами металлургического производства весьма существенно отражаются на процессах потепления климата Земли со всеми вытекающими отсюда последствиями. В статье рассмотрены процессы получения железа различными способами, а именно доменный процесс, процесс получения железа из оксида с помощью алюминия, процессы прямого восстановления. Далее описана возможность использования водорода для восстановления оксида железа.

В статье также отмечены методы получения водорода, такие как паровая конверсия воды и метана, крекинг метана, электролиз воды и пиролиз.

Ключевые слова: железо, водород, выбросы, экология, прямое восстановление железа.

ВВЕДЕНИЕ

Предприятия цветной и черной металлургии при извлечении металлов вынуждены использовать руду с очень низким содержанием полезных компонентов. Таким образом, на обогащение и плавку поступает огромный объем руды, а это, в свою очередь, порождает большие количества отходящих газов из неиспользуемых компонентов. Именно загрязнение атмосферы является главной причиной экологических проблем, возникающих в результате деятельности металлургических гигантов. Выбросы из труб приводят к загрязнениям почв, уничтожению растительности и образованию техногенных пустошей вокруг крупных заводов. К тому же, экологические проблемы отечественной металлургии обостряются из-за высокого износа оборудования и устаревших технологий.

Актуальность данной темы состоит в том, что технология восстановления оксидов железа водородом обеспечит экологическую безопасность.

Целью данной работы является выполнение анализа по альтернативному способу получения железа, исключая загрязнение окружающей среды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Получение железа из железной руды производится в две стадии. Оно начинается с подготовки руды – измельчения и нагревания. Руду измельчают на куски диаметром не более 10 см. Затем измельченную руду прокаливают для удаления воды и летучих примесей.

На второй стадии железную руду восстанавливают до железа с помощью оксида углерода в доменной печи. Восстановление проводится при температурах порядка 700 °С:



Для повышения выхода железа этот процесс проводится в условиях избытка диоксида углерода CO_2 [1].

Моноксид углерода CO образуется в доменной печи из кокса и воздуха. Воздух сначала нагревают приблизительно до 600 °С и нагнетают в печь через особую трубу – фурму. Кокс сгорает в горячем сжатом воздухе, образуя диоксид углерода. Железо, образующееся при восстановлении руды, загрязнено примесями песка и глинозема. Для их удаления в печь добавляют известняк. При температурах, существующих в печи, известняк подвергается термическому разложению с образованием оксида кальция и диоксида углерода. Оксид кальция соединяется с примесями, образуя шлак. Шлак содержит силикат кальция и алюминат кальция.

Производительность современных доменных печей повышается увеличением их рабочего объема. Таковой у средней доменной печи около 5 тыс м³. Это обеспечивает выплавку стали до 4 млн т/год. Печь такой производительности расходует свыше 10 железнодорожных эшелонов сырья в сутки. Для хорошей производительности требуется тщательная подготовка руды и топлива к плавке, применении руд с усредненным составом, самофлюсующегося агломерата. А также использование дутья с повышенной влажностью и температурой, автоматической аппаратуры для контроля и регулирования технологических процессов. При этом производство с использованием доменных печей вносит серьезное загрязнение в окружающую среду. Металлургическое производство находится на втором месте среди всех других производств промышленности по атмосферным выбросам [2].

Далее рассмотрим процесс получения железа из оксида с помощью алюминия. Алюминотермия – способ получения металлов, неметаллов (а также сплавов) восстановлением их оксидов металлическим алюминием.

Шихта из порошкообразных материалов засыпается в плавильную шахту или тигель и поджигается с помощью запальной смеси. Если при восстановлении выделяется много теплоты, осуществляется внепечная алюминотермия, без подвода

тепла извне, развивается высокая температура (1900 – 2400 °С), процесс протекает с большой скоростью, образующиеся металл и шлак хорошо разделяются. Если теплоты выделяется недостаточно, в шихту вводят подогревающую добавку или проводят плавку в дуговых печах (электropечная алюминотермия) [3].

К основным недостаткам можно отнести существенные выбросы исходной шихты и продуктов реакции во время горения. Другим недостатком такого процесса является сложность получения сплошного однородного слитка металла малой массы (несколько десятков граммов) для разных целей, в том числе для проведения исследований [4].

Так, в 70-х годах XX столетия стали появляться промышленные производства железа непосредственно из руды, минуя доменный процесс, который работал с использованием кокса. Одной из первых появились установки прямого восстановления железа или губчатого железа. Процесс прямого восстановления железа водородом в наши дни, как технологический метод, остался без изменения – специально подготовленная, то есть обогащенная руда – концентрат, где содержится основной окисел железа восстанавливается в шахтной печи с помощью твердого топлива, как это было в древности, или для этой цели используется конвертированный газ – природный метан, но преобразованный в смесь водорода и угарного газа (CO) [5].

Железо прямого восстановления в основном производят в виде металлизированных окатышей: холодных CDRI (Cool Direct Reduced Iron) или горячих HDRI (Hot Direct Reduced Iron), а также горячебрикетированного железа HBI (Hot Briquetted Iron).

В настоящее время также можно восстанавливать концентраты руды, которые еще не превращены в окатыши. Более того, оказалось, что концентрат восстанавливается даже с большей скоростью, чем изготовленные из него окатыши. Однако на пути к реализации этого процесса стоят трудности чисто технологического характера.

Наиболее интересным способом восстановления оксида железа, является возможность использования водорода в режиме горения [6]. Сам процесс восстановления пойдет достаточно быстро и при этом не возникает лишних примесей: продукт восстановления – железо и вода. Существует технология среднетемпературного восстановления оксида железа, когда протекает процесс горения и прямого воздействия водорода при температуре 470–810 °С. Восстановитель – водород или в чистом виде, или с примесью окиси углерода. Железо, естественно, находится в твердом состоянии, образуя при восстановлении своеобразную губку. Конечным продуктом везде являются железо, вода и углекислый газ, причем воду можно снова использовать для получения водорода и кислорода. Таким образом, появляются реальные возможности осуществить замкнутый цикл восстановления железа водородом и создать безотходное производство [7].

Существует более 100 различных методов добычи водорода – как теоретических, так и освоенных в промышленных масштабах. В зависимости

от выбранного вами вида получения ресурса, производство водорода потребует различного оборудования, сырья и других ресурсов. Рассмотрим 5 самых распространенных способов производства водорода [8].

Более 50 % всего водорода получается путём паровой конверсии воды и метана. При этом три основных составляющих (природный газ, водяной пар и кислород) смешиваются в определённых пропорциях. Второй метод получения водорода – крекинг метана, простейшего по составу углеводорода. Благодаря специальному процессу сжиженный метан нагревается до температур выше 1000–1400 °С, после чего газ начинает разлагаться на водород и карбон. Благодаря дешевизне метана, а также простому способу его получения, такой тип добычи водорода проще всего. Ещё один вид добычи водорода – электролиз воды. Это второй по распространённости метод добычи водорода, обеспечивающий достаточно высокую чистоту конечного продукта. Сопутствующим «бонусом» в этом технологическом процессе становится кислород, не менее важный элемент. Для такого способа производства требуются значительные запасы воды. Тем не менее он совсем не требователен к её качеству – для электролиза можно использовать промышленную, дождевую или даже сточную воду.

Последняя из наиболее распространённых методик – пиролиз. Иными словами – разложение органики при помощи термической обработки. «Топливом» для этого могут служить отходы сельского хозяйства и пищевых производств птичий помёт и другие побочные продукты животноводства; отходы рыбных, соко- и мясокомбинатов; некоторые виды технических культур, специально выращенных для получения биомассы.

Использование водорода для нужд черной металлургии – реальность сегодняшнего дня, и это возможно с применением водородных турбогенераторных установок. Впервые в мировой практике при проведении научных и опытно – конструкторских работ при испытании водородной турбогенераторной установки было выявлено уникальное новое явление – восстановление окиси железа водородом [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По изучению получения водорода в турбогенераторной установке была использована промежуточная горизонтальная газоотводящая труба диаметром 279 мм, толщиной стенки 8 мм и длиной 2500 мм, полностью покрытая окисью железа с наружной и внутренней сторон, находившейся около 10 лет под воздействием окружающей среды (рисунок 1).



Рисунок 1 – Турбогенераторная установка

Задачами, поставленными перед учеными в данный период испытаний, являлись определение температуры горения водорода на выходе газоотводящей трубы при помощи термопара ТП (предел определения температуры до 1500 °С) и анализ газов с применением прибора «Тесто-300». Время проведения эксперимента составило около 35 минут. За этот период времени научными работниками было обнаружено, что воздействие водорода при температуре горения 900 °С на используемую в данном опыте газоотводящую трубу способствовало процессу восстановления окиси железа во внутренней стороне на 100 % по всей толщине и частично с наружной стороны за счет воздействия горючего водорода, который выходил в ограниченном количестве.

Достоверные факты, опытно-экспериментальные исследования – все это даёт полное основание заявить о возможности применения водородных турбогенераторных установок в металлургии для восстановления оксида железа водородом с фантастически низкой себестоимостью, что открывает возможность приступить к переработке отходов на рудниках в виде оксида железа [10].

Будущее развитие металлургии возможно только при совместном сотрудничестве науки и имеющихся производств. Основная задача для научного мира в отрасли металлургии состоит в разработке новых технологий производства способных значительно снизить энергозатраты. Для устранения экологических проблем не хватает ресурсов, как финансовых, так и физических, поэтому в настоящий момент они находятся только в стадии разработки. Поиск новых способов продолжается, так как важность проблемы несомненна.

На сегодняшний день в ряде исследовательских коллективов активно обсуждаются вопросы водородной металлургии. Более того имеются опытно-промышленные варианты заводов будущего. В этом отношении в нашем коллективе также предприняты подобные исследования.

ВЫВОДЫ

В данной статье мы представили перспективный способ производства железосодержащих сплавов из рудного сырья. Прямое водородное восстановление

оксида железа – только начало технологического прогресса в черной металлургии. Но и остальные звенья – будь то конвертеры, электропечи, заводы-автоматы, аппараты малооперационной технологии – требуют хорошего исходного сырья. Им будет восстановленный водородом оксид железа.

Металлургию будущего не без основания часто называют водородной. В настоящее время водород обходится дорого. Его получение, хранение и транспортировка сопряжены с множеством чисто технических проблем. Впрочем, произведенные эксперименты и расчеты показывают, что можно получать водород с такой низкой себестоимостью и «водородная металлургия» обретет надежную экономическую основу, также необходимо учесть полную экологическую безопасность водородных турбогенераторных установок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Юсфин, Ю. С.** Металлургия железа / Ю. С. Юсфин, Н. Ф. Пашков // Учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению Металлургия. – М., 2007. – 320 с.

2 **Заяц, Т. М.** Новые процессы и материалы в металлургии. Пособие для студентов, 2018.

3 **Дорофеев, Г. А.** О проблемах современного производства стали / Г. А. Дорофеев, С. З. Афонин, Л. Н. Шевелев, Е. Щивка // XIII Конгресс сталеплавильщиков. – 2008. – № 1. – С. 401–403.

4 **Юсфин, Ю. С.** Новые процессы получения металла (металлургия железа): учеб. для вузов / Ю. С. Юсфин, А. А. Гиммельфарб, Н. Ф. Пашков. – М.: Металлургия, 1994. – 320 с.

5 **Шнабель, С.** От железа прямого восстановления до высококачественной стали / С. Шнабель // Черные металлы. – 2004. – № 6. – С. 20–23.

6 **Дигонский, С. В.** Неизвестный водород / С. В. Дигонский, В. В. Тен. – СПб.: Наука, 2006. – 292 с.

7 **Farchmin, F.** Hydrogen generation with SIYLZER PEM electrolyzers: Driving convergence between energy and industrial markets, Vortrag Stahlinstitut VDEh, 12. Okt. 2015.

8 **Йопп, К.** Водород – «элемент надежный». – Черные металлы. – 2014. – № 9. – 59 с.

9 **Емельянов, А. И.** Водородная энергетика. Перспективы использования водородных топливных элементов. Энергосбережение. Практикум. – 2014. – № 5. – 47 с.

10 **Дли, М. И.** Водородная энергетика и перспективы ее развития. Альтернативная энергетика и экология. – 2015. – № 22. – 37–41 с.

Материал поступил в редакцию 29.12.20.

Б. М. Боранбаева, А. Т. Мырзагулова, Ш. Х. Тажиев, Ж. Г. Майшина

Қарағанды техникалық университеті,
Қазақстан Республикасы, Қарағанды қ.
Материал 29.12.20 баспаға түсті.

КЕН ШИКІЗАТЫНАН ҚҰРАМЫНДА ТЕМІР БАР ҚОРЫТПАЛАРДЫ ӨНДІРУДІҢ ПЕРСПЕКТИВАЛЫҚ ТӘСІЛІ

Бұл мақалада құрамында темір бар қорытпаларды көміртексіз алу туралы айтылады. Мақала әлемдік экономиканың аса маңызды саласы ретінде металлургияның теориялық, технологиялық және экологиялық мәселелеріне арналған, мұнда басты проблемалардың бірі атмосфераның және тиісінше ауаның ластануы болып табылады. Металл алудың әртүрлі процестері қарастырылады. Металл өндірудің дәстүрлі технологиясы қоршаған ортаға экологиялық зиянды әсер ететін көмір термиялық қалпына келтіруге негізделген. Темірді көміртексіз тәсілмен алу технологиясына ерекше назар аударылады.

Құрамында темір бар қорытпаларды өндірудің негізгі проблемасы кен минералдарын қалпына келтіру процесінде масақты көлемдегі көміртегі оксидтерінің бөлінуін қарастырган жөн. Көміртегі оксидтері металлургиялық өндірістің басқа қалдықтарымен бірге Жер климатының жылыну процестеріне айтарлықтай әсер етеді. Мақалада темірді әртүрлі тәсілдермен алу процестері, атап айтқанда Домна процесі, алюминий көмегімен оксидтен темір алу процесі, тікелей қалпына келтіру процестері қарастырылады. Төменде темір оксидін азайту үшін сутекті пайдалану мүмкіндігі сипатталған.

Мақалада сонымен қатар су мен метанның бу конверсиясы, метанның крекингі, судың электролизі және пиролиз сияқты сутегі алу әдістері көрсетілген.

Кілтті сөздер: темір, сутегі, шығарындылар, экология, темірді тікелей қалпына келтіру.

B. M. Boranbaeva, A. T. Myrzagulova, Sh. Kh. Tajiev, J. G. Maishina

Karaganda Technical University,
Republic of Kazakhstan, Karaganda.
Material received on 29.12.20.

A PROMISING METHOD FOR PRODUCING IRON-CONTAINING ALLOYS FROM ORE RAW MATERIALS

This article deals with the preparation of iron-containing alloys by a carbon-free method. The article is devoted to theoretical, technological and environmental issues of metallurgy, as the most important branch of the world economy, where one of the main problems is air pollution. Various processes of metal production are considered. The traditional technology of metal production is based on carbon-thermal recovery, which is harmful to the environment. Special attention is paid to the technology of obtaining iron by a carbon-free method.

The main problem in the production of iron-containing alloys should be

considered the release of carbon oxides in colossal volumes during the reduction of ore minerals. Carbon oxides, together with other wastes from metallurgical production, have a very significant impact on the processes of warming the Earth's climate with all the consequences that follow from this. The article discusses the processes of obtaining iron by various methods, namely the blast furnace process, the process of obtaining iron from oxide using aluminum, and direct reduction processes. The possibility of using hydrogen to reduce iron oxide is described below.

The article also highlights methods for producing hydrogen, such as steam conversion of water and methane, methane cracking, water electrolysis, and pyrolysis.

Keywords: iron, hydrogen, emissions, ecology, direct reduction of iron.

МРНТИ 53.03.05, 55.35.37

<https://doi.org/10.48081/DKTJ9805>

**А. Ж. Касенов, К. К. Абишев, П. О. Быков,
Р. Б. Муканов, А. Т. Амеркулов**

Торайгыров университет,
Республика Казахстан, г. Павлодар

ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛЕНКОУКЛАДЧИКА

В статье приведен расчёт элементов проектируемого пленкоукладчика с применением системы APM FEM. Применение современных программных средств позволит качественно, надежно и конкурентоспособно проектировать и выполнять всесторонний инженерный анализ и на его основе принимать конструктивные решения.

На основании результатов расчёта были выбраны наиболее оптимальные значения основных параметров, а также выполнен инженерный анализ для повышения качества проектных решений и сокращения затрат времени на этапе технологической подготовки.

Применение системы APM FEM при расчёте элементов сельскохозяйственной техники позволяет повысить производительность проектирования без натурных испытаний, возможно определить недостатки конструкции.

Ключевые слова: APM FEM, пленкоукладчик, моделирование, МКЭ, анализ.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время развитие аграрного сектора является одной из важнейших задач в Республике Казахстан. Его трудно реализовать без соответствующей сельскохозяйственной техники, отвечающей современным требованиям и подходящей для регионов республики [1–7].

Ранее при проектировании сельскохозяйственных машин и режущего инструмента, проводились расчеты с применением различных программ (Autodesk

Inventor, APM Winmachine) [8–12]. В рамках выполнения магистерского проекта проводилась работа по проектированию пленкоукладчика мульчирующей пленки. Проектирование проводилось в САД-системе КОМПАС-3D, прочностные расчеты проводились в системе прочностного анализа APM FEM, предназначенной для работы в интерфейсе САД-системы КОМПАС-3D.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основные шаги при проведении расчета:

- Подготовка 3D-модели к проведению расчета прочности (упрощение геометрии);
- Анализ и задание граничных условий (нагружение, закрепление);
- Автоматическая генерация конечно-элементной сетки на 3D-модели;
- Выбор необходимого типа расчета и настройка его параметров;
- Проведение расчета;
- Просмотр полученных результатов и анализ значений основных расчетных характеристик (напряжений, коэффициентов запаса, перемещений и т.д.);
- Проведение модификации модели по результатам проведенных вычислений (изменение геометрии/материала);
- Повторное проведение расчетного анализа для подтверждения работоспособности изделия [13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для проведения расчета в КОМПАС-3D было смоделирована конструкция укладчика мульчирующей пленки, представленной на рисунке 1.

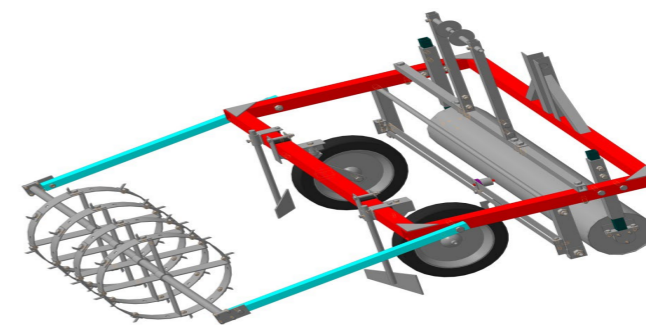


Рисунок 1 – Конструкция пленкоукладчика

В качестве примера приведем расчет рамы пленкоукладчика представленной на рисунке 2.

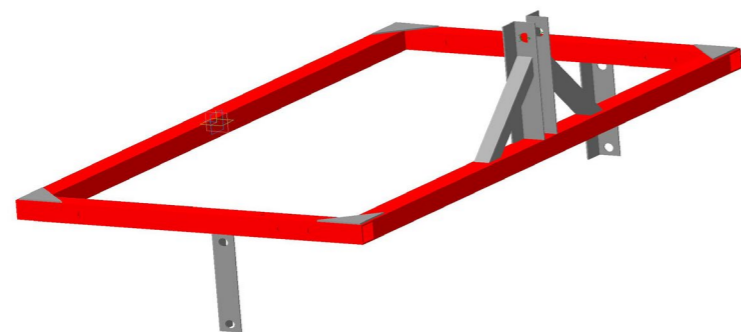


Рисунок 2 – Рама пленкоукладчика

Принимаем следующие исходные данные: материал – Сталь 20 ГОСТ 1050-88. Из библиотеки материалу присваиваются свойства, показанные в таблице 1.

Таблица 1 – Свойства материала

Предел текучести [МПа]	245
Модуль упругости нормальный [МПа]	198000
Коэффициент Пуассона	0.3
Плотность [кг/м ³]	7859
Температурный коэффициент линейного расширения [1/С]	0.000011
Теплопроводность [Вт/(м*С)]	51
Предел прочности при сжатии [МПа]	400
Предел выносливости при растяжении [МПа]	204
Предел выносливости при кручении [МПа]	100

Система автоматически моделирует КЭ сеть и присваивает параметры. Основные параметры построенной сетки отображены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры и результаты разбиения

Максимальная длина стороны элемента [мм]	8
Максимальный коэффициент сгущения на поверхности	1
Коэффициент разрежения в объеме	1.5
Количество конечных элементов	137478
Количество узлов	46227

Построенная конечно-элементная сеть отображается в виде рамы разделенной на элементы (рисунок 3), в данном случае для ускорения процесса размер элемента увеличен до 8 мм, а количество сокращено до 137478 узлов.

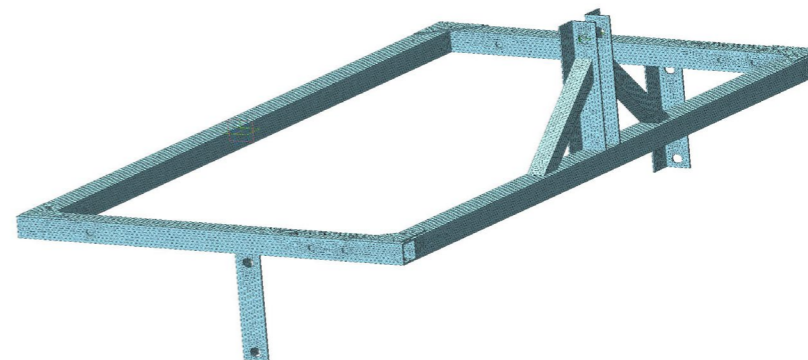


Рисунок 3 – КЭ модель рамы

Следующим этапом при проведении расчетов является установление зависимости фиксации. В данном случае моделируется агрегатирование с задней навеской трактора. Затем поэтапно задаются нагрузки, действующие на пластины (рисунок 4).

Информация о нагрузках

Наименование	Выбранные объекты	Параметры нагрузки
Распределенная сила:	Грани: 1	Вектор силы:
Распределённая сила: 1		X = 0; Y = 0; Z = 1000
		Величина: 1000 Н

Информация о закреплениях

Наименование	Выбранные объекты	X [мм]	Y [мм]	Z [мм]	Rot. X [град]	Rot. Y [град]	Rot. Z [град]
Закрепление:	Грани: 2	Запрещ.	Запрещ.	Запрещ.	-	-	-
Закрепление: 1							

Рисунок 4 – Информация о нагрузках и закреплениях

После задания всех необходимых условий производится расчет и результаты выводятся в виде отчета. Также выводятся карты напряжения по Мизесу, коэффициента запаса прочности, суммарных перемещений (деформаций) и др. (рисунки 5–7).

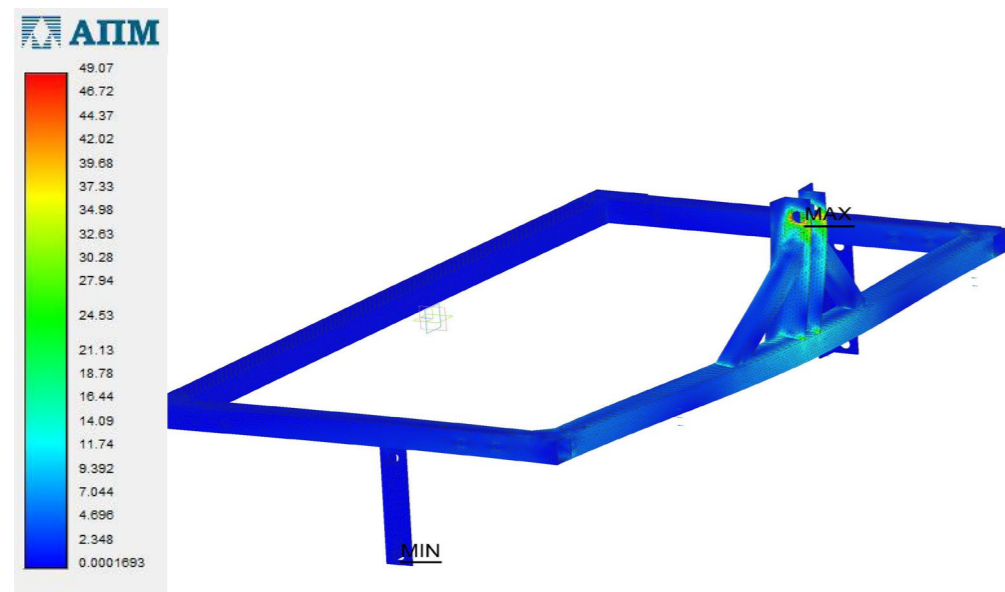


Рисунок 5 – Карта напряжений по Мизесу

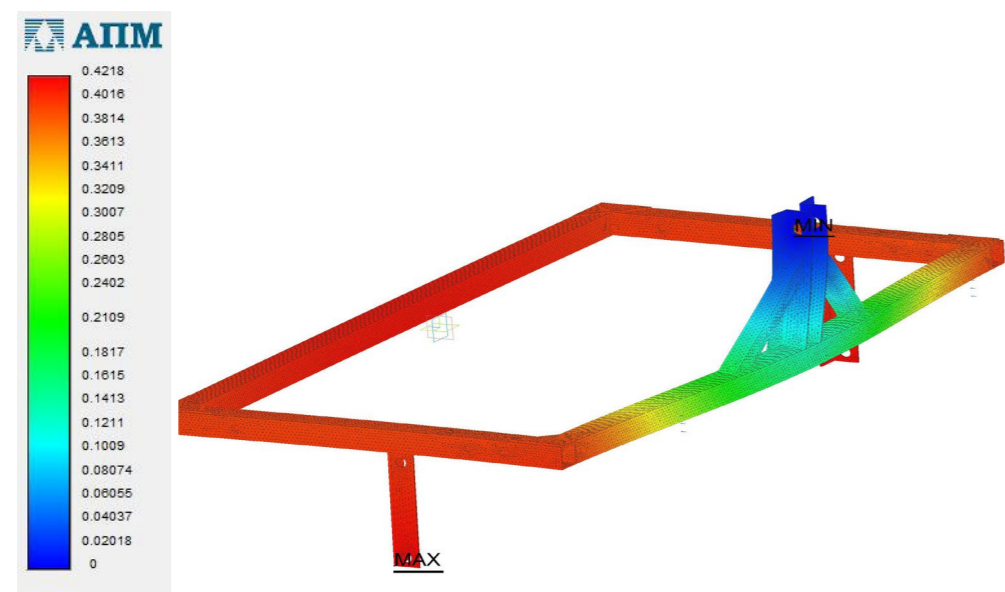


Рисунок 6 – Суммарное линейное перемещение

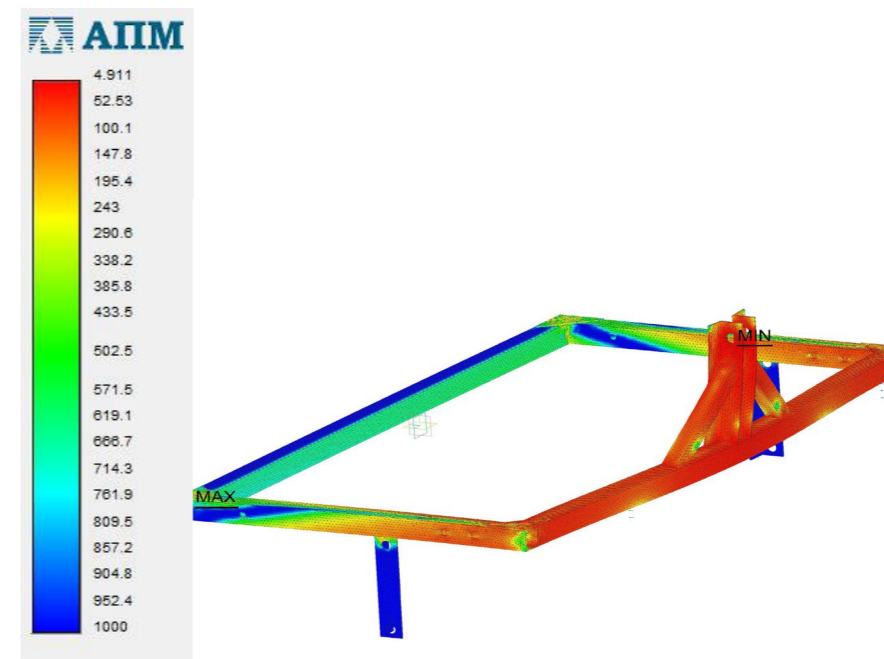


Рисунок 7 – Коэффициент запаса по прочности

ВЫВОДЫ

На основании результатов расчёта были выбраны наиболее оптимальные значения основных параметров и характеристик рамы с учетом технологичности, а также выполнен инженерный анализ для повышения качества проектных решений и сокращения затрат времени на этапе технологической подготовки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Государственная программа развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2017–2021 годы. – Астана, 2017.
- 2 Материалы VII Форума машиностроителей Казахстана, 2018.
- 3 Шумейко, И. А., Касенов, А. Ж., Абишев, К. К. Роль машиностроения и особенности развития отрасли в Казахстане // Наука и техника Казахстана. – 2019. – № 4. – С. 81–89.
- 4 Доцанова, А. И. Актуальные проблемы развития АПК Казахстана в условиях глобального кризиса // Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции «Современный взгляд на проблемы экономики и менеджмента». – 2015. – С. 6–8.
- 5 Омарханова, Ж. М. Вопросы развития АПК в Казахстане // Материалы международной заочной научно-практической конференции «Экономика и управление инновационными процессами, проектами, программами». – 2015. – С. 64–67.

6 Маркетинговое исследование на тему: Основной рынок и сборка сельскохозяйственной техники в Республике Казахстан. – Нур-Султан, 2018.

7 **Kasenov A. Zh., Mukanov R. B., Amerkulov A. T.** Prospects for the organization of trailer equipment production // Наука и техника Казахстана. – 2020. – № 2. – С. 66–73.

8 **Мендебаев, Т. М., Дудак, Н. С., Касенов, А. Ж., Муканов, Р. Б.** Применение системы Autodesk Inventor при проектировании резцовой головки для обработки отверстий. Труды международных Сатпаевских чтений «Конкурентоспособность технической науки и образования», Т. 1, часть 1. – Алматы, 2016 – С. 238–243.

9 **Дудак, Н. С., Касенов, А. Ж., Муканов, Р. Б., Таскарина, А. Ж.** Применение системы APM WinMachine при проектировании металлорежущих инструментов. Материалы за X Международна научна практична конференция «Ключови въпроси в съвременната наука – 2014» 17–25 април 2014 г. – Том 37 технологии. – София «Бял Град-БГ» ООД 2014. – С. 47–50.

10 Совершенствование конструкции и расчет шпинделя прошивного стана с помощью CAD/CAE системы APM Winmachine. Богомоллов А. В. Муканов Р. Б., Мухтубаева К. С. Романов Н. С. Матер. Международн. научн. конф. молодых учёных, магистрантов, студентов и школьников «XV Сатпаевские чтения», Т.16. Серия «Студенты». – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова, 2015. – С. 190.

11 <https://www.apk-inform.com/ru/exclusive/opinion/72987>. [Электронный ресурс].

12 Маркетинговое исследование рынка сельскохозяйственной техники в Казахстане omega system 2019 г.

13 <https://apm.ru/apm-fem>. [Электронный ресурс].

Материал поступил в редакцию 29.12.20.

А. Ж. Қасенов, К. К. Әбішев, П. О. Быков, Р. Б. Мұқанов, А. Т. Амеркулов

Торайғыров университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 29.12.20 баспаға түсті.

АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҚ ТЕХНИКАСЫН ЖОБАЛАУ КЕЗІНДЕ APM FEM-ДЕ БЕРІКТІК ТАЛДАУ

Мақалада APM FEM жүйесін қолдану арқылы жобаланған пленкладчик элементтерінің есебі келтірілген. Қазіргі заманғы бағдарламалық құралдарды қолдану сапалы, сенімді және бәсекеге қабілетті жобалауға және жан-жақты инженерлік талдауды орындауға және оның негізінде конструктивті шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді.

Есептеу нәтижелері негізінде негізгі параметрлердің ең оңтайлы мәндері таңдап алынды, сондай-ақ жобалық шешімдердің сапасын арттыру және технологиялық дайындық кезеңіндегі уақыт шығындарын қысқарту үшін инженерлік талдау жасалды.

Ауыл шаруашылығы техникасының элементтерін есептеу кезінде APM FEM жүйесін қолдану Жобалау өнімділігін арттыруға мүмкіндік береді нақты сынақтарсыз конструкцияның кемшіліктерін анықтауға болады.

Кілтті сөздер: APM FEM, пленка төсегіш, модельдеу, МКЕ, талдау.

A. Zh. Kasenov, K. K. Abishev, P. O. Bykov, R. B. Mukanov, A. T. Amerkulov

Toraighyrov University,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.
Material received on 29.12.20.

STRENGTH ANALYSIS IN APM FEM WHEN DESIGNING AGRICULTURAL MACHINERY

The article presents the calculation of elements of the designed film stacker using the APM FEM system. The use of modern software tools will allow you to design and perform comprehensive engineering analysis in a high-quality, reliable and competitive manner and make constructive decisions based on it.

Based on the calculation results, the most optimal values of the main parameters were selected and engineering analysis was performed to improve the quality of design solutions and reduce time spent at the stage of technological preparation.

The use of the APM FEM system in the calculation of elements of agricultural machinery allows you to improve the design performance without field tests, it is possible to determine the design flaws.

Keywords: APM FEM, agricultural machinery, modeling, FEM, analysis.

М. К. Жакенов¹, А. М. Солтанова²¹ПФ ТОО «KSP Steel»,

Республика Казахстан, г. Павлодар;

²Инновационный Евразийский университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар

**АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
УСТАНОВКИ С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЬЮ**

Рассмотрена задача об устойчивости ветроэнергетической установки с горизонтальной осью в условиях изменения скорости вращения ветроколеса, которое вызывается подключением и отключением потребителей электроэнергии. Проанализированы факторы, влияющие на устойчивость ветроэнергетической установки. Движения представлены в виде математических уравнений. Математической моделью мачты служит перевернутый маятник с упругим закреплением в основании, поток воздуха предполагается квазистационарным. Найдены режимы изменения скорости вращения ветроколеса, приводящие к нарастанию колебаний мачты. Приводятся результаты численного моделирования.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, устойчивость, линейная обратная связь, оптимальное управление.

ВВЕДЕНИЕ

Возникновение понятия устойчивости в целом связано техническими соображениями. Так как во многих технических задачах важно, чтобы невозмущенное движение было асимптотически устойчивым, и эта устойчивость имела место при любых, даже сколь угодно больших начальных возмущениях [1].

Частным случаем проблемы устойчивости в целом является задача об абсолютной устойчивости, т.е. задача о сохранении устойчивости в целом при любых значениях нелинейности специального вида из заданной области. В технических задачах к этому понятию приводит то обстоятельство, что вид некоторой характеристики исследуемой системы не может быть точно определен и может меняться во время эксплуатации, а устойчивость должна сохраняться [2].

Рассмотрим ветроэнергетическую установку, состоящую из турбины с горизонтальной осью, расположенной на вершине мачты. Мачта моделируется как перевернутый маятник с упругой заделкой в основании. Воздушный поток предполагается квазистационарным [3].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Движение описывается системой уравнений:

$$(J + ml^2)\ddot{\psi} = \left(\frac{M}{2} + m\right)gl \sin \psi - M_{\text{air}} + cI - kl^2\psi,$$

$$= -\left(\frac{M}{2} + m\right)gl J_m \sin \psi + M_{\text{air}}(J_m + J + ml^2) - cI(J_m + J + ml^2) + kl^2 J_m \psi,$$

$$LI = c\omega - (r + R)I.$$

 ψ – угол между вертикалью и мачтой; ω – угловая скорость вращения турбины; I – сила тока, J – момент инерции мачты относительно основания; M – масса мачты; m – масса лопастей турбины; l – длина мачты; g – ускорение силы тяжести; J_m – момент инерции лопастей и электродвигателя турбины относительно оси вращения; k – коэффициент упругости (сила упругости является линейной функцией координаты); M_{air} – момент аэродинамических сил относительно оси вращения турбины; c – коэффициент; L – индуктивность; r – внутреннее сопротивление; R – сопротивление внешней нагрузки [4].Введем безразмерное время τ и коэффициент θ по формулам: $t = \tau\theta$, где

$$\theta = \frac{J + ml^2}{\left(\frac{M}{2} + m\right)gl}$$

Тогда

$$\dot{\psi} = \frac{1}{\theta^2} \dot{\psi}^n, \quad \dot{\omega} = \frac{1}{\theta^2} \dot{\omega}^n$$

где штрих означает производную по безразмерному времени, σ – безразмерная угловая скорость вращения турбины. Введем следующие обозначения для комбинаций исходных переменных и коэффициентов:

$$u = \rho c l, \quad w = \psi', \quad \rho = \frac{1}{\left(\frac{M}{2} + m\right) g l},$$

$$k = k p l^2, \quad K = 1 - k, \quad j = \frac{J_m + J + m l^2}{J_m},$$

$$\pi = \frac{\rho c^2}{L}, \quad \rho = \frac{(r + R)\theta}{L}$$

Предположим, что угол ψ достаточно мал, и ограничимся приближением $\sin\psi \approx \psi$ [5]. Для аппроксимации аэродинамического момента примем, что установочный угол лопастей $\phi = \pi/2$, угол атаки настолько мал, что подъемную силу лопасти можно рассматривать как линейную функцию угла атаки, а силу сопротивления – независимой от него. Тогда простейшая аппроксимация момента аэродинамических сил такова (см. [6]): $M_{air} = C_1 V^2 - C_2 \sigma^2$. В безразмерных переменных система имеет вид:

$$\begin{aligned} \psi' &= w, \\ w' &= K\psi + C_2 \sigma^2 - C_1 V^2 + u, \\ \sigma' &= K\psi - j C_2 \sigma^2 + j C_1 V^2 - j u, \\ u' &= \pi \sigma - \rho u. \end{aligned}$$

Заметим, что возмущение ρ входит только в четвертое уравнение системы. Отбросим это уравнение и перейдем к редуцированной системе, где в качестве возмущения рассматривается параметр u :

$$\begin{aligned} \psi' &= w, \\ w' &= K\psi + C_2 \sigma^2 - C_1 V^2 + u, \\ \sigma' &= K\psi - j C_2 \sigma^2 + j C_1 V^2 - j u. \end{aligned}$$

Если наилучший закон $u(t)$ определен, то соответствующее возмущение $\rho(t)$ может быть вычислено из четвертого уравнения системы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Стационарные решения системы имеют вид [7]: $w^* = 0, \psi^* = 0, \sigma^* = \sqrt{(C_1 V^2 - u/C_2)}$, где u рассматривается как константа. Для системы, линеаризованной в окрестности стационарного решения, с помощью критерия Гурвица [8] установлено, что рассматриваемое стационарное решение асимптотически устойчиво. Соответствующая линейная управляемая система управляема по Калману, и, следовательно, существует линейная обратная связь,

обеспечивающая положительные собственные значения характеристического многочлена [9]. Более того, потеря устойчивости возможна, когда возмущение является линейной функцией только угловой скорости вращения турбины [10], $\Delta u = a\sigma$; условие неустойчивости решения задается неравенством $a < -2C_2\sigma$.

ВЫВОДЫ

Показано, что устойчивость мачты с ветроэнергетической установкой на вершине может быть нарушена с помощью возмущения в виде обратной связи по угловой скорости вращения турбины. Дальнейшие исследования предполагают исследование задачи нахождения наилучшего возмущения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Байрамов, Ф. Д., Галимов, Н. С., Марданшин, Р. Г.** Уравнения динамики и устойчивость номинального режима работы ветроэнергостановки (ВЭУ) // Онлайн-журнал. Камский государственный политехнический институт. – Набережные Челны, 2002. – № 9.
- 2 **Александров, В. В.** Оптимизация динамики управляемых систем. – М. : МГУ, 2000. – 304 с.
- 3 **Досаев, М.ИЗ.** Конструктивная теория МВЭУ. Ч. 1. – М. : МГУ, 2007. – 76 с.
- 4 **Смирнов, А. Ф., Александров, А. В., Лашенков, Б. Я., Шапошников, Н. Н.** Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений / Стройиздат, 1984.
- 5 **Денисенко, Г. И.** Возобновляемые источники энергии. – Киев : Вища школа, 1983.
- 6 **Илиев, В., Алмас, Л.** Использование энергии ветра. – Издательство «Техника», Бухарест, 1984.
- 7 **Panofsky, H. A.** Wind structure in strong winds below 150 m. // Wind Engineering. 1977. – Vol. 1. – P. 91–103.
- 8 **Шефтер, Я. И.** Использование энергии ветра. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 199 с.
- 9 **Шефтер, Я. И.** Ветроэлектрические агрегаты. – М. : «Машиностроение», 1972. – 288 с.
- 10 **Федоров, М. П.** Эколого-технические системы в энергетике // Проблемы гидроэнергетики и их решение. – Л. : Энергоатомиздат, 1980. – С. 21–25.

Материал поступил в редакцию 29.12.20.

М. К. Жакенов¹, А. М. Солтанова²

¹«KSP Steel» ЖШС,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

²Инновациялық Еуразия университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал 29.12.20 баспаға түсті.

КӨЛДЕНЕҢ ОСЬТІК ЖЕЛЭЛЕКТРОСТАНЦИЯСЫНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН ТАЛДАУ

Көлденең осі бар жел қондырғысының тұрақтылығы мәселесі электр дөңгелегінің айналу жылдамдығының өзгеруі жағдайында қарастырылады, бұл электр энергиясын тұтынушыларды қосу және ажырату салдарынан туындайды. Жел энергетикалық қондырғының орнықтылығына әсер ететін факторлар талданды. Қозғалыс математикалық теңдеулер түрінде ұсынылған. Материктің математикалық моделі негізінде серпінді бекітілетін инверттелген маятник болып табылады да, ауа ағыны квази-стационарлы деп саналады. Мастикалық тербелістердің жоғарлауына әкелетін жел доңғалағының айналу жылдамдығын өзгерту режимдері табылған. Сандық модельдеудің нәтижелері келтірілген.

Кілтті сөздер: жел қуатын орнату, тұрақтылық, сызықтық кері байланыс, оңтайлы басқару.

M. K. Zhakenov¹, A. M. Soltanova²

¹KSP Steel LLP,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

²Innovative Eurasian University,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 29.12.20.

ANALYSIS OF SUSTAINABILITY OF A HORIZONTAL AXLE WIND POWER INSTALLATION

The problem of the stability of a wind power installation with a horizontal axis is considered under conditions of a change in the speed of the wind wheel rotation, which is caused by connecting and disconnecting electricity consumers. Factors affecting the stability of a wind power plant are analyzed. The movements are represented as mathematical equations. The mathematical model of the mast is an inverted pendulum with elastic fastening at the base, the air flow is assumed to be quasi-stationary. The modes of changing the rotational speed of the wind wheel, leading to an increase in mast oscillations, are found. The results of numerical simulation are presented.

Keyword: wind power installation, stability, linear feedback, optimal control.

SRSTI 61.01.11

<https://doi.org/10.48081/XYEN7072>

**G. J. Seitenova¹, R. M. Dusova², D. N. Kabylkaiyr³,
V. V. Grebenkin⁴, L. M. Bolsunovskaya⁵**

^{1,2,3,4}Toraighyrov University,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

⁵Tomsk Polytechnic University,

Russian Federation, Tomsk

OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF PREPARING MOTOR FUELS AT REFINERIES

One of the key tasks of modern oil refining in Kazakhstan is the production of commercial oil products that meet international environmental standards K-4, K-5. Undoubtedly, this is facilitated by the modernization of primary and secondary production facilities of refineries, which allows you to expand the range of commercial products and improve their quality. The compounding process plays an equally important role in the formation of quantitative and qualitative indicators of commercial gasoline.

The article considers the main mathematical models for calculating the preparation of commercial gasoline, the main purpose of which is to select a recipe that ensures compliance of petroleum products with GOST requirements. The basis is a mathematical model for calculating the detonation resistance of gasoline, taking into account the intermolecular interactions of the mixture components. Currently, the modeling of mathematical models of various oil refining processes is of particular relevance, since this allows reducing the cost of the experimental part, calculate all possible scenarios and make the most appropriate choice.

Keywords: the process of compounding commercial gasoline, a mixing device, a computer modeling system, a high-octane gasoline.

INTRODUCTION

Gasoline compounding is not a universal process for various refineries due to the variety of oil refining technologies implemented at the enterprises, as well as the composition of raw materials. Each refinery has its own recipe for cooking from available intermediates.

Components involved in the compounding process:

- basic components – are carriers of the main properties of the resulting gasoline;
- additives and additives – are used to improve performance indicators.

The most important indicators for developing a commercial gasoline formulation are the saturated vapor pressure, octane number, and content of components such as sulfur, benzene, aromatic and olefin hydrocarbons.

MATERIALS AND METHODS

The main difficulty in calculating the compounding process is that the detonation resistance is not an additive property, that is, the octane mixing numbers (OCS) of the flows differ significantly from the weighted sum of the octane numbers (OCS) of the individual components. The difference between PTS and PTS can be significant and up to 20 points [3].

The most appropriate and cost-effective ratio of components is found for each batch of gasoline. This problem is solved using a computer modeling system [2].

The authors of the study [4] claim that the cause of deviations is the presence of intermolecular interactions between the bonds of hydrocarbons in the composition of finished petroleum products. These forces of intermolecular interaction depend on the polarity of the gasoline mixture molecules. The value of the dipole moment can be used to judge the isomerism and conformation of organic compounds, the configuration of coordination nodes of complexes, and the mutual influence of atoms and bonds in the molecule. Since the detonation resistance is an integral characteristic of the reactivity, which directly depends on the structure of the molecules, the resulting intermolecular forces will affect the non-additivity of the octane numbers of gasoline mixing.

In conditions of constantly changing raw material composition and catalyst activity, experimental methods for determining the mixed characteristics of commercial gasoline are not applicable due to the multi-factor nature of this task. To solve the problem of multi-criteria optimization of the compounding process, the most effective method is mathematical modeling with the development and use of computer modeling systems.

Today, there are a number of commercial packages on the market of computer modeling systems, such as: Aspen Process Industry Modeling System (Aspen PIMS) of Aspen Technology Inc., Blend Ratio Control (BRC) and Refinery and Petrochemical Modeling System (RPMS) of Honeywell International Inc. and Blend Optimization and Supervisory System (BOSS) of Invensys plc., which allow you to optimize the use of raw materials for mixing. These programs make it possible to automatically calculate the optimal mixing formula from the economic point of view [5–7]. However, despite the significant advantages of such programs, their application in some cases is difficult, due to the fact that calculations often use not the actual properties of certain components, but the conditional characteristics of mixing, which can lead to significant errors in calculations and loss of resource efficiency of the compounding process.

RESULTS AND DISCUSSING

In [8], we analyzed the developed mathematical model for calculating the octane numbers of commercial gasolines, based on the analysis of the reasons for the deviation of the mixing octane numbers from the additivity [9, 10]. In the practice of compounding, it has been observed that the more different the molecules of the components to be mixed, the greater the observed deviations from the behavior of ideal solutions. The key in the work [8] is considered to be the creation of a database on the octane numbers of components that make up commercial gasoline. Since the creation of a database that includes the individual hydrocarbon composition of gasoline is difficult due to the

multicomponent nature of gasoline, therefore, the aggregation of hydrocarbons into groups was carried out based on chemical affinity, similarity of structure, detonation resistance of components, etc.

The authors [11] in their work calculated the cost of gasoline with octane numbers 95, 98 in the Compounding modeling system developed in the Department of chemical engineering of TPU. The relevance of the work lies in the preparation of gasoline of a certain recipe, but with a relatively low cost. This was achieved by reducing the concentration of expensive components, such as MTBE, isomerizate, without compromising the quality of commercial gasoline.

The authors of the work have increased the efficiency of the gasoline compounding process by taking into account changes in the composition of raw materials of this process, which have a significant impact on the quality characteristics of commodity products [11]. This was achieved thanks to the introduction of the octane number calculation program «Compounding», with an up-to-date addition in the form of automated processing of chromatographic analysis data. This led to the creation of an extended formalized list of 110 hydrocarbon components that make the main contribution to the formation of the octane number of gasoline using the mathematical modeling method.

The implementation of this module makes it possible to take into account changes in the composition of raw materials, as well as to vary the mixing recipes and develop recommendations for involving different raw materials in compounding. The accuracy of the developed formulations provides savings in expensive components, which allows the oil refinery to get a significant economic effect.

CONCLUSION

Mathematical modeling remains an urgent issue today, as it has a huge potential for application not only in compounding, but also in other processes of oil refining and petrochemistry. In-depth study and implementation of this process will reduce production costs and improve the quality of commercial petroleum products.

REFERENCES

- 1 **Kravtsov, A. V., Ivanchina, E. D., Smyshlyeva, Y. A.** Tomsk Polytechnic University mathematical modeling of the process of compounding commercial gasoline taking into account the reactivity of the mixture components proceedings of Tomsk Polytechnic University. – 2009. – T. 314. – No. 3.
- 2 **Sakhnevich, B. V., Kirgina, M. V., Chekantsev, N. V., Ivanchina, E. D.** Development of a module for automated processing of chromatographic analysis data to improve the efficiency of process compounding of commercial gasoline. – Tomsk : proceedings of the Tomsk Polytechnic University. – 2014. – T. 324. – No 3. – P. 127–135.
- 3 **Albahri, T. A.** Structural group contribution method for predicting the octane number of pure hydrocarbon liquids // Ind. Eng. Chem. Res. – 2003. – No. 42. – P. 675–662.

4 Kirgin, M. V., Korolenko, M. V., Ivanchina, E. D., Chekantsev, N. V. Optimization of the production process of commercial gasoline at GazpromNefTomsk oil refinery Tomsk Polytechnic University.

5 Aspen Technology, Inc. 2011. [Electronic resource]. – URL: <http://www.aspentech.com> (date of issue 05.06.2012).

6 Honeywell-Global Technology Leader in Efficiency, Clean Energy Generation, Safety and Security, and Globalization.1994. [Electronic resource]. – URL:<http://honeywell.com/Pages/Home.aspx> (date of request 05.06.2012).

7 Invensys. 2011. [Electronic resource]. – URL: <http://www.invensys.com> (date of request 05.06.2012).

8 Kravtsov, A.V., Ivanchina, E. D., Smyshlyeva, Y. A. DEVELOPMENT OF a database on octane numbers for a mathematical model of the compounding process of commercial gasoline

9 Kravtsov, A.V., Ivanchina, E. D., Smyshlyeva, Y. A. Accounting for the intensity of intermolecular interactions of mixture components in mathematical modeling of the compounding process of commercial gasoline // Oil Refining and Petrochemistry. Scientific and technical achievements and advanced experience. – 2010. – No 9. – P. 9–14.

10 Kravtsov, A.V., Ivanchina, E. D., Smyshlyeva, Y. A. Mathematical modeling of the compounding process of commercial gasoline taking into account the reactivity of the mixture components // Proceedings of the Tomsk Polytechnic University, 2009. – Vol. 314. – No. 3. – P. 81–85.

11 Maletsky, V. Y. Mathematical modeling of the process of compounding gasoline using a computer modeling system Compounding / V. Yu. Maletsky, I. M. Dolganov, I. O. Dolganova; scientific hands. I. M. Dolganov // Chemistry and chemical technology in the XXI century: materials of the XX International scientific and practical conference named after Professor L. P. Kulev students and young scientists, may 20-23, 2019, Tomsk. – Tomsk : TPU Publishing house, 2019. – P. 380–381.

Material received on 29.12.20.

Г. Ж. Сейтенова¹, Р. М. Дюсова², Д. Н. Кабылкайыр³, В. В. Гребенкин⁴, Л. М. Болсуновская⁵

^{1,2,3,4}Торайғыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

⁵Томск политехникалық университеті,

Ресей Федерациясы, Томск қ.

Материал 29.12.20 баспаға түсті.

МӨЗ-ДЕ МОТОР ОТЫНДАРЫН ДАЙЫНДАУ ПРОЦЕСІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Қазақстанның қазіргі заманғы мұнай өңдеудің негізгі міндеттерінің бірі – К–4, К–5 халықаралық экологиялық стандарттарға сәйкес келетін тауарлық мұнай өнімдерін шығару. Бұған тауарлық өнімнің ассортиментін кеңейтуге

және оның сапасын арттыруға мүмкіндік беретін МӨЗ-дің бастапқы және қайталама өндірістерін жаңғырту ықпал ететіні сөзсіз. Компаундирлеу процесі тауарлық бензиндердің сандық және сапалық көрсеткіштерін қалыптастыруда маңызды рөл атқарады.

Мақалада тауарлық бензиндердің дайындалуын есептеудің негізгі математикалық модельдері қарастырылған, оның негізгі мақсаты мұнай өнімдерінің ГОСТ талаптарына сәйкестігін қамтамасыз ететін рецептті таңдау, қоспасы компоненттерінің молекулааралық өзара әрекеттесуін ескере отырып, бензиндердің детонациялық тұрақтылығын есептеудің математикалық моделіне негізделген. Қазіргі уақытта мұнайды өңдеудің әртүрлі процестерінің математикалық модельдерін модельдеу ерекше маңызды, өйткені бұл тәжірибелік бөліктің құнын төмендетуге мүмкіндік береді, оқигалардың барлық ықтимал нұсқаларын есептеңіз және ең қолайлы нұсқаны таңдаңыз.

Кілтті сөздер: тауарлық бензиндерді компаундирлеу процесі, араластыру құрылғысы, компьютерлік моделдеу жүйесі, жоғары октанды бензиндер.

Г. Ж. Сейтенова¹, Р. М. Дюсова², Д. Н. Кабылкайыр³, В. В. Гребенкин⁴, Л. М. Болсуновская⁵

^{1,2,3,4}Торайғыров университет,

Республика Казахстан, г. Павлодар;

⁵Томский политехнический университет,

Российская Федерация, г. Томск.

Материал потупил в редакцию 29.12.20.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ НА НПЗ

Одной из ключевых задач современной нефтепереработки Казахстана считается выпуск товарных нефтепродуктов, соответствующих международным экологическим стандартам К–4, К–5. Несомненно, этому способствует модернизация первичных и вторичных производств НПЗ, которая позволяет расширить ассортимент товарной продукции и повысить её качество. Процесс компаундирования играет не менее важную роль в формировании количественных и качественных показателей товарных бензинов.

В статье рассмотрены основные математические модели расчета приготовления товарных бензинов, основное назначение которой подобрать рецептуру обеспечивающей соответствие нефтепродуктов требованиям ГОСТ, в основу положена математическая модель расчета детонационной стойкости бензинов с учетом межмолекулярных взаимодействий компонентов смеси. В настоящее время особую актуальность имеет моделирование математических моделей различных процессов нефтепереработки, поскольку это позволяет снизить затраты на экспериментальную часть, просчитать все возможные варианты развития событий и сделать выборна наиболее целесообразный вариант.

Ключевые слова: процесс компаундирования товарных бензинов, смесительное устройство, компьютерная моделирующая система, высокооктановые бензины.

<https://doi.org/10.48081/LSCQ8211>

Б. Ш. Смайлов

АО «Казахстанский электролизный завод»,
Республика Казахстан, г. Павлодар

ПРИМЕНЕНИЕ БОРА ПРИ РАФИНИРОВАНИИ ПЕРВИЧНОГО АЛЮМИНИЯ

В данной статье рассмотрено применение бора при рафинировании первичного алюминия. Приведены технологические решения по снижению содержания ванадия в первичном алюминии при его производстве.

Предложен новый комплексный способ рафинирования расплава алюминия от ванадия за счёт бора путём ввода флюсов на его основе в среде инертного газа во всасывающую трубу вакуум-ковша.

Ключевые слова: бор, рафинирование, алюминий, примеси, свойства.

ВВЕДЕНИЕ

При производстве первичного алюминия образуются различные примеси, которые оказывают влияние на свойства как первичного алюминия, так и изделия, производимые на его основе.

В таблице 1 приведены сведения об основных примесях, их источниках, влиянии на свойства сплава и распространённые способы рафинирования от перечисленных примесей [1, 2].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Первичный алюминий АО «Казахстанский электролизный завод» марок А7, А7Е, А8 поставляется на внешний и внутренний рынок. Из местных предприятий, основным потребителем чушкового алюминия является АО «Казэнергокабель», производящий алюминиевую катанку и электрический кабель [3].

Для алюминия, используемого для производства электрокабелей, большое значение имеет предельное содержание ванадия. Из работ [4–7] известно, что ванадий сильно снижает электропроводимость алюминия. В данных работах указывается, что содержание ванадия более 0,01 % стремительно понижает электропроводность алюминия с 38 мкОм до 30 мкОм и при увеличении на 1 % содержания в твёрдом растворе титана и ванадия электропроводность алюминия возрастает на 2,88 и 3,58 мкОм соответственно.

Таблица 1 – Примеси алюминия и их влияние на физико-химические свойства [1, 2]

Элемент	Происхождение	Следствие и влияние на свойства сплава	Способ удаления
Водород, H ₂	Реакция с атмосферой и продуктами сгорания, сырые загружаемые материалы	Газовая, газоусадочная, вторичная пористость; снижение механических свойств	Продувка газами, флюсовое рафинирование, вакуумная обработка
Литий, Li	Электролит первичного алюминия, шихтовые материалы	Склонность к окислению, голубая коррозия, снижение плотности, пластичности, увеличение микропористости	Обработка газами, флюсовое рафинирование, угольное фильтрование
Натрий, Na	Электролит первичного алюминия, взаимодействие с солями	Склонность к окислению, увеличение усадки, микропористости, газонасыщенности, снижение механических свойств	
Кальций, Ca	Электролит первичного алюминия, взаимодействие с солями, реакция с огнеупорами	Склонность к окислению, увеличение усадки, пористости, снижение механических свойств и коррозионной стойкости	
Оксиды Al ₂ O ₃ , MgO	Реакция с атмосферой	Снижение механических свойств, электропроводности и жидкотекучести, образование расслоения, газовой пористости, повреждение и износ инструментов при обработке	Флюсовое рафинирование, фильтрование, обработка газами, отстаивание
Шпинель Al ₂ O ₃ MgO	Карналлит		
Нитрид AlN	Обработка азотом		
Силикат CaSiO ₃	Эрозия огжупоров		
Алюминат CaAl ₂ O ₄			
Карбиды SiC, TiC, Al ₄ C	Лигатуры, реакция с углеродом, первичный алюминий		
Интерметаллиды Al ₃ Ti, Al ₃ Zr, AlTiZr, AlV ₃	Лигатуры, реакция в расплаве при неблагоприятном составе сплава		

Повышенное содержание ванадия наблюдается в алюминиевых электролизерах при производстве первичного алюминия в АО «Казахстанский электролизный завод», связанным с его повышенным содержанием в сырье (прокалённом коксе) для производства обожжённых анодов [2]. Данный факт приводит к снижению объёма потребления местного прокалённого кокса (производимого ТОО «УПНК-ПВ», г. Павлодар) и его частичную замену импортируемым из Китая и Российской Федерации.

Таким образом, поиск технологических решений по снижению содержания ванадия в первичном алюминии при его производстве имеет большую актуальность.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Литературный обзор позволил выявить перспективность использования бора для рафинирования расплава алюминия от ванадия [8–17].

Механизм взаимодействия алюминия с ванадием и бором описан рядом авторов [8–13].

Из диаграммы состояния Al-V [8] видно, что соединения Al₂₁V₂, Al₁₅V₇, Al₁₃V₄, Al₃V, Al₁₉V₅ образуются по перитектическим реакциям при температурах 670, 688, 736, 1360, 1670 °C соответственно (рисунок 1). Кроме того, при температуре 661,9 °C имеет место перитектическая реакция Ж + Al₂₁V₂ ↔ (Al). Растворимость V в (Al) при температурах 735, 660 и 500 °C составляет 0,91; 0,2 и 0,11 % (ат.), соответственно. Растворимость Al в (V) составляет 50,5; 53,5 и 44 % (ат.) при температурах 1670, 980 и 900 °C соответственно. Растворимость Al в (V) при температуре 1000 °C равна 45 % (ат.).

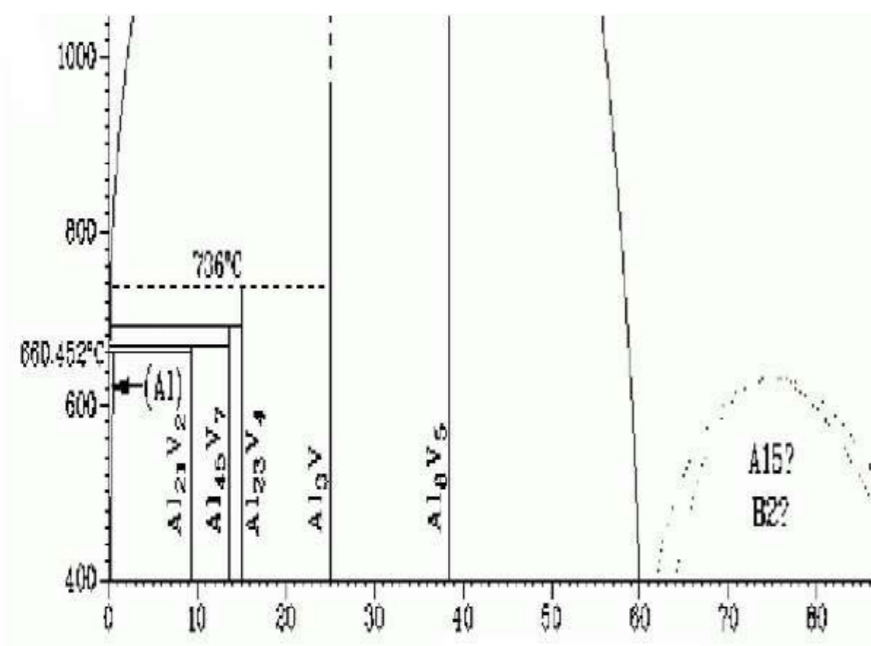


Рисунок 1 – Диаграмма состояния Al-V (перитектические превращения ванадия в диапазонах температур 500–1080 °C) [8]

Согласно работе [9] процесс растворения ванадия в жидком алюминии происходит в диффузионном режиме. Скорость растворения ванадия в жидком алюминии существенно ниже, чем металлов группы железа. В работе [10, 11], приводятся данные константы скорости растворения при температуре 750 °C в диапазоне скорости вращения (метод вращающегося диска) $\omega = 6,61 - 36,8$ рад/с и выражается как:

$$K_p = (5,2 + 0,1) - 10 - 5\omega 0,54$$

По данным Ермолаева К. Н. [9], величина скорости растворения при 900 °C $K_p = 0,65$ г/(см²с) с содержанием ванадия в расплаве алюминия после растворения 0,4V.

По данным тех же авторов [10, 11], при температуре 700 – 950 °C зависимость коэффициента диффузии от температуры подчиняется уравнениям:

$$D = (2,184) - 10 - 7 - \exp(-45,64 / RT) \quad [10]$$

$$D = 0,44 - 10 - 3 - \exp(-7,7 / RT) \quad [11]$$

В работе [12, 13], представлена диаграмма состояния Al-B (рисунок 2). Видно, что бор с алюминием образует два соединения: AlB₂ и AlB₁₂. Соединение AlB₂ образуется в результате перитектической реакции из соединения AlB₁₂, температура этого фазового перехода по разным данным может составлять величину от 927 до > 1400 °C.

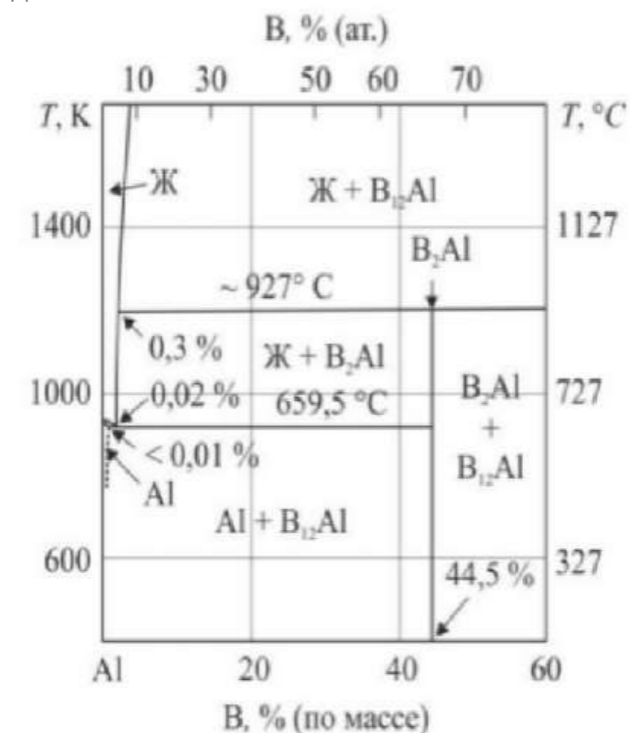


Рисунок 2 – Фрагмент диаграммы состояния Al-B [12]

Взаимодействие ванадия с бором описано в работе [13]. На рисунке 3 видно, что в системе V-B образуется шесть боридов: V₃B₂, VB, V₅B₆, V₃B₄, V₂B₄, VB₂.

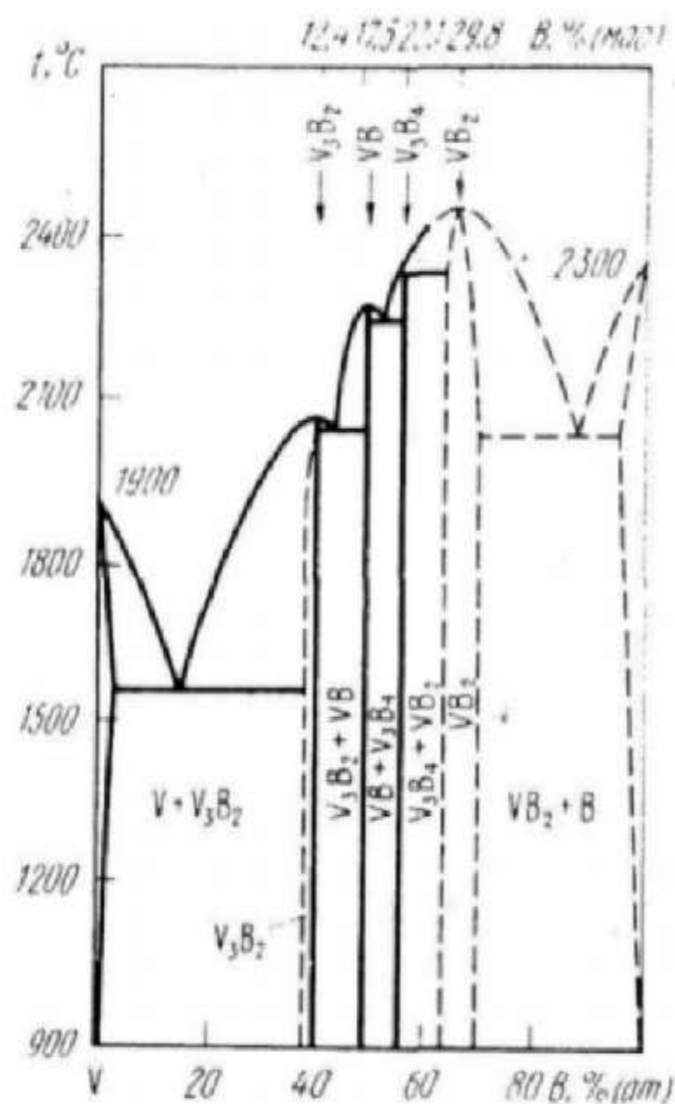


Рисунок 3 – Диаграмма состояния V-B [13]

Следует отметить высокую температуру плавления боридов ванадия, далеко выходящих за рабочие температуры процесса электролиза алюминия и дальнейшей обработки расплавов.

Анализ применения бора для рафинирования алюминия от ванадия показал, что бор в основном вводится в алюминиевый электролизёр [14–17].

В работе [14] описан способ очистки алюминия от примесей тяжёлых металлов (Ti, V, Cr) путём введения бора в электролит промышленных электролизёров. В электролизёре происходит образование тяжёлых интерметаллидных соединений ванадия с бором, которые в дальнейшем оседают на подине электролизёра. Очевидным недостатком способа является загрязнение подины, что снижает

технико-экономические показатели электролиза. Вторым недостатком является повышенный расход бора (в четыре раза выше стехиометрических расчётов) из-за образования газообразного фтористого бора и длительности процесса электролиза.

В работе [15] описан способ удаления примесей тяжёлых цветных металлов из расплавленного алюминия, включающий введение в расплав алюминия бора, перемешивание расплава в режиме вихревого потока и дальнейшую разливку. Недостатком способа является дополнительное использование специальных флюсов, кроме борсодержащих веществ, что снижает технико-экономические показатели процесса.

В работе [16] описан способ очистки расплава алюминия от примесей Ti, V, Cr, который заключается в подаче бора с одновременным воздействием на расплав электромагнитного поля, которое поддерживают в течение всего периода разливки.

В АО «Казахстанский электролизный завод» [17] проводились промышленные испытания по ряду направлений.

Первый вариант включал ввод борной кислоты (H_3BO_3) в электролизёр (ежесуточно по 3 кг). Данный способ показал хорошие результаты рафинирования, но снижение стойкости подины электролизёра.

Второй способ заключался в подаче флюса на основе борной кислоты в процессе разливки алюминия в литейном отделении непосредственно в изложницу литейной машины. Данный способ показал незначительное содержание ванадия (на 4-6 ррт).

Третьим вариантом использования бора являлся его ввод в состав анодной массы при производстве обожжённых анодов (до 3 кг на один анод). Данный способ также не дал ощутимых результатов по снижению содержания ванадия.

Основываясь на вышеуказанных данных, авторами работы предложен новый комплексный способ рафинирования расплава алюминия от ванадия за счёт бора путём ввода флюсов на его основе в среде инертного газа во всасывающую трубу вакуум-ковша (рисунок 4).

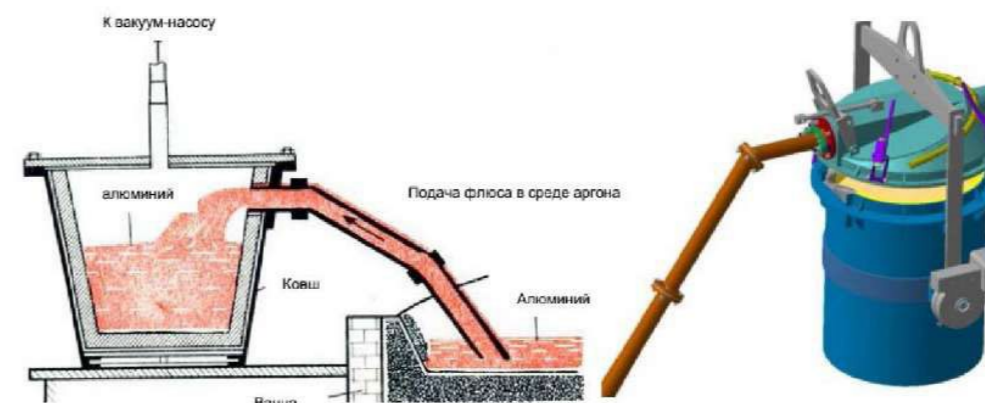


Рисунок 4 – Схема осуществления способа (а) и конструкция вакуум-ковша (б)
ВЫВОДЫ

Новый комплексный способ рафинирования расплава алюминия от ванадия за счёт бора путём ввода флюсов обеспечивает ряд преимуществ:

- равномерное перемешивание алюминиевого расплава и флюса без дополнительных материальных затрат на механизмы по созданию перемешивания (индукционное перемешивание и т.п.);
- достаточное время на проведение процесса рафинирования в период перемещения вакуум-ковша в литейное отделение цеха электролиза;
- удобство удаления боридов ванадия в виде осадков в ковше путём фильтрации при выпуске металла из вакуум-ковша в литейный миксер.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Пискарев, Д. И.** Разработка технологии рафинирования алюминия от примесей щелочных и щёлочноземельных металлов : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М. : ГИИЦВЕТМЕТ, 2007. – 182 с.
- 2 **Куандыков, А. Б., Смайлов, Б. Ш., Быков, П. О.** Перспективы развития технологии рафинирования первичного алюминия от ванадия // Материалы международной научно-практической конференции «ХІ Торайгыровские чтения». Т. 5. – Павлодар : ПТУ имени С. Торайгырова, 2019. – С. 63–71.
- 3 Рождение крылатого металла // Казахстанская правда. – 29 декабря 2016 г. [Электронды ресурс]. – <https://www.kazpravda.kz/articles/view/rozhdenie-krilatogo-metalla> 1.
- 4 **Троицкий, И. А., Железнов, В. А.** Металлургия алюминия. – М. : Metallurgia, 1984. – 400 с.
- 5 **Банчила, С. Н., Филиппов, Л. П.** Изучение электропроводности металлов // Теплофизика высоких температур. – 1973. – Т. 11. – № 3. – С. 668–671.
- 6 **Фомин, Н. Е., Ивлев, В. И., Юдин, В. А.** Влияние примесей на электросопротивление меди и алюминия // Вестник Мордовского университета. – 2014. – № 1–2. – С. 50–57.
- 7 **Мирзоев, Ф. М.** Теплофизические свойства алюминия различной степени чистоты и сплавов системы Al-Si: диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. – Душанбе : Таджикский технический университет имени академика М. С. Осими, 2019. – 116 с.
- 8 **Лякишев, Н. П.** Диаграммы состояния двойных металлических систем : справочник : В 3 т.: Т. 1. – М. : Машиностроение, 1996. – 992 с.
- 9 **Напалков, В. И., Махов, С. В.** Легирование и модифицирование алюминия и магния. – М. : МИСИС, 2002. – 376 с.
- 10 **Еременко, В. Н., Натанзон, Я. В., Титов, В. П.** // Известия АН СССР. Металлы. – 1975. – № 6. – С. 42–45.
- 11 **Darby, J. B., Jugle, D. B., Kleppa, O. T.** // Trans. Me. Soc. AIME. – 1963. – V. 227. – № 1. – P. 179–185.
- 12 **Червякова, К. Ю.** Исследование и разработка технологии получения слитков и листов боралюминия повышенной прочности : диссертация на

соискание ученой степени кандидата технических наук. – М. : Национальный Исследовательский Технологический Университет «МИСиС», 2019. – 116 с.

- 13 **Лякишев, Н. П., Плинер, Ю. Л., Лаппо, С. И.** Борсодержащие стали и сплавы. – М. : Metallurgia, 1986. – 192 с.
- 14 Цветные металлы, № 6. – С. 45–49.
- 15 Патент Франции № 2536090, кл. С 22 В 21/06, 1984.
- 16 Патент РФ № 2084548, кл. С 22 В 21/06 Способ очистки алюминия и его сплавов от примесей тяжёлых металлов, 1997.
- 17 **Ибрагимов, А. Т., Пак, Р. В.** Электрометаллургия алюминия. Казахстанский электролизный завод : монография. – Павлодар : Дом печати, 2009. – 276 с.

Материал поступил в редакцию 21.12.20.

Б. Ш. Смайлов

«Қазақстан электролиз зауыты» АҚ,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 21.12.20 баспаға түсті.

БАСТАПҚЫ АЛЮМИНИЙДІ ТАЗАРТУДА БОРДЫ ҚОЛДАНУ

Бұл мақалада бастапқы алюминийді тазартуда борды қолдану қарастырылған. Бастапқы алюминийде ванадий құрамын оны өндіру кезінде төмендету бойынша технологиялық шешімдер келтірілген.

Вакуум-шөміштің сору құбырына инертті газ ортасында оның негізінде флюстерді енгізу арқылы бор есебінен алюминий балқымасын ванадийден тазартудың жаңа кешенді тәсілі ұсынылды.

Кілтті сөздер: бор, тазарту, алюминий, қоспалар, қасиеттері.

В. Sh-A. Smaylov

JSC «Kazakhstan Electrolysis Plant»,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.
Material received on 21.12.20.

APPLICATION OF BORON IN THE REFINING OF PRIMARY ALUMINUM

This article discusses the use of boron in the refining of primary aluminum. Technological solutions for reducing the vanadium content in primary aluminum during its production are presented.

A new complex method for refining aluminum melt from vanadium at the expense of boron by introducing fluxes based on it in an inert gas medium into the suction pipe of the vacuum bucket is proposed.

Keywords: boron, refining, aluminum, impurities, properties.

S. I. Derevyagin, I. V. ZagozinToraighyrov University,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar**DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF MOBILE HYDROELECTRIC POWER STATION**

The review of the operation, design, and operation features of the mini-hydro power plant that can provide electricity to a private household or a separate private house. A project has been developed to supply the private sector with electricity from a mobile hydroelectric power station. To accommodate the hydropower plant, it was decided to install the DN500 pipeline. The selected water flow rate and the difference in the location of the channel and the location of the turbine installation allow you to provide the required power.

The novelty of the work consists of electrifying a private economy using a mobile hydroelectric power station and establishing the advantages and disadvantages of this solution with an assessment of the impact of all design parameters on the output parameters.

The research results can be applied for the manufacture of the mobile hydroelectric power station to their usage in the peasant farms, to save electricity, as well as in the development of experimental-industrial samples of electrical installations for various purposes.

Keywords: hydropower plant, household, private economy, pipeline, electricity.

INTRODUCTION

Nowadays, when the reserves of traditional energy sources, such as oil, gas, and coal, are decreasing and their price is high enough, it leads to the greenhouse effect on the planet and more countries are thinking about alternative (renewable) energy sources.

Renewable energy sources (RES) are sources that are used as renewable energy. This is a great substitute for traditional sources, also mostly they cannot be comparable with in terms of power generated (except for hydroelectric power plants).

The idea of using alternative energy sources has come a long way, But more recently it has been considered to be a substitute for traditional power plants.

The energy of the future is an ambiguous concept. The area has been strongly developed in various directions. Some of them are at the stage of laboratory tests, or already used in practice [1–5].

MATERIALS AND METHODS

In this regard, consideration of issues related to alternative energy sources and their usage is relevant in our time. Today, the inefficient consumption of fuel and energy is

the most common problem. This problem is getting more and more intense every year. There are plenty of ways to solve this problem.

It is necessary to erect additional power plants and treatment facilities, with accompanying design work in getting power supply and wastewater treatment in villages, cottage settlements, and even individual buildings. In most cases, after deterioration or obsolescence, these stations need to be repaired, reconstructed, or mothballed, followed by the construction of a new station. The development and reconstruction of urban infrastructure are impossible without the reconstruction and modernization of life support systems. At the same time, the reconstruction and technical re-equipment of power supply, heating, and hot water supply systems are one of the most difficult engineering tasks.

To achieve this goal, the following tasks are proposed for solving the problem [6-10]:

- consideration of alternative energy sources used in the national economy, which carry out their work based on water energy;
- analysis of climatic and orohydrographic conditions of Ust-Kamenogorsk, East Kazakhstan region of the Republic of Kazakhstan, as a location for a mobile HPP;
- development of a project for a mobile hydroelectric power station.

RESULTS AND DISCUSSING

The mobile hydroelectric power station is designed to provide power supply to a private economy, located 18 km from Ust-Kamenogorsk in the East Kazakhstan region. The private farm is about 300 m from the Irtysh River. It is isolated from other settlements by steppe regions. It has no access to the Irtysh. However, about 10 m from the farm there is a channel that belongs to the floodplain of the Irtysh River. The channel is about 14.0 m wide.

there is a peninsula formed by the right branch of the Irtysh River and the right channel 23 m from the private farm.

Agricultural land (fields) is located on the southeast side of the private farm.

The R-24 Ust-Kamenogorsk – Tavricheskoe East Kazakhstan highway stretching over 900 m to the west

The width of the Irtysh River in this area is 246.2 m, the depth is 5.6 m. The river in this section is navigable.

A private farm can simultaneously accommodate 6 people who are engaged in the processing of fields near the farm.

There are no power lines. Consequently, an autonomous energy source is required.

Such a source is a diesel power plant with a nominal power of 5.0 kW. It is an emergency source. The main source is proposed to take a mobile hydroelectric power station.

Let's take a look at the electrical loads that exist in a private household, which includes the following buildings and structures:

House

- pumping station for supplying water from a shallow watercourse to the house and for watering the garden plot;

- electric stove;
- electric heaters in the amount of 8 pcs;
- TV sets – 4 pcs;
- personal computers – 3 pcs;
- household equipment (irons, coffee maker, microwave oven, electric kettle, washing machine) – 6 pcs;
- lighting.
- Garage:
 - electric heaters in the amount of 2 pcs;
 - compressor for pumping wheels – 1 pc;
 - welding unit – 1 piece;
 - lighting.
- Greenhouse:
 - electric heaters in the amount of 16 pcs;
 - electric fan – 1 piece;
 - pump for irrigation – 1 piece;
 - lighting.
- Personal plot:
 - electric gates – 1 piece;
 - electric saw – 1 piece;

Table 2.1 shows the calculation of the power of the above devices and their utilization factor.

The calculation is fulfilled according to the formulas below.

For the power consumers indicated in Table 2.1, we define the active power (kW) by the formula:

For the power consumers indicated in Table 2.1, we define the active power (kW) by the formula:

$$P_p = \sum P_H \cdot k_c \quad (1)$$

Table 1 shows the main characteristics of the selected mini hydroelectric power station.

A gate valve is installed in front of the turbine on the supply pipeline, which is necessary to ensure the start and stop of the turbine. Power equipment: ballast load block, automatic control device is placed in a metal block-box measuring 3.0x5.0 m. The block-box is equipped with heating and ventilation.

Table 1 – the main characteristic of the mini hydroelectric power station

Parameter	Value
Head, m	4...12
Water consumption, m ³ / s	0,4...0,9
Generated power, kW	50

Voltage, V	230/400
Rotation frequency, rpm	750...1000
Current frequency, Hz	50
Number of phases, pcs	3
Phase connection	U
Turbine impeller diameter, mm	460
Power unit weight, kg	1400...2000
Block weight with ballast load, kg	85/190
Weight of automatic control device,	200
Block dimensions, m (wxdxh)	3,0x5,0x2,5

CONCLUSION

In this article, the principle of operation, design, and features of the operation of mini hydroelectric power plants, which can provide electricity to a private economy or a separate private house, is considered. Also, at present, there are models of hydroelectric power plants that can work in the field, providing electricity to portable devices to organize their charging.

The work has developed a project for the supply of private households with electricity from a mobile hydroelectric power station. The private farm is located in the floodplain of the Irtysh River in the vicinity of the city of Ust-Kamenogorsk, East Kazakhstan region.

REFERENCES

- 1 (Panteleev, Multipurpose optimization and computer aided design, 209. – Kranoyarsk : Publishing house of Sib. Feder. un-t, 2009. – 194 p.
- 2 **Sketerayev, Y. A.** Situational operational control of power plants in normal modes: dis... Dr. Tech. Sciences: 05.14.02: approved 07/14/2000 / Yuri Anatolievich Sekretarev. – Novosibirsk, 1999. – 2 80 p.
- 3 **Borshch, P. S.** Methods of planning the power generation of a hydroelectric power station cascade taking into account runoff and atmospheric factors: dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.14.08 / Borsh Pavel Sergeevich. – Moscow, 2014. – 147 p. (P.S, 2014)
- 4 **Manusov, V. Z.** Nonlinear stochastic models for analysis and planning of electrical systems modes: dis. ... Dr. Tech. Sciences: (V.Z)05.14.02 / Manusov Vadim Zinovievich. – Novosibirsk, 1985. – 408 p. (V.Z)
- 5 **Filippova, T. A.** Modern concepts of optimization of modes of electric power systems / T. A. Filippova, A. G. Rusina // Energy of Russia in the 21st century: development strategy - the eastern vector: materials of all – Russian Conf., 30 Aug. – 3 Sept. 2010. – Irkutsk, 2010. – P.1–4. (T.A)
- 6 **Kryuchkovsky, V. V.** A situational approach to the theory of organization and management of industrial facilities in conditions of uncertainty / V. V. Kryuchkovsky, I. F. – 2011. – Issue. 45. – P. 132–137. (V.V)

7 **Guk, Yu. B.** Design of the electrical part of stations and substations: textbook. manual for universities / Yu.B. Guk, V.V. Kantan, S.S. Petrova. – Leningrad : Energoatomizdat. Leningr. the department, 1985. – 312 p. (1985)

8 The electrical part of power plants: a textbook for universities / S. V. Usov, B. N. Mikhalev, A. K. Cherepovets [and others]; ed. S. V. Usova. – 2nd ed., Rev. and add. – Leningrad: Energoatomizdat. Leningr. the department, 1987. – 616 p. (1987)

9 **Litvintsev, A. I.** Control of modes of complex electric power systems based on interval modeling: author. dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.13.01 / Litvintsev Aleksandr Igorevich. – Irkutsk, 2015. – 34 p. (2015)

10 **Zaitsev, A. I.** Multifunctional power static devices for controlling the modes of electric power systems / A. I. Zaitsev, V. N. Krysanov // Energy, and resource-saving XXI century: a collection of articles. materials X Int. scientific-practical internet conf. – Voronezh, 2012. – P. 70–72. (A.I)

Material received on 21.12.20.

С. И. Деревягин, И. В. Загозин

Торайғыров университеті,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал 21.12.20 баспаға түсті.

ҚУАТТЫ МОБИЛЬДІ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯЛАРДЫ ҚҰРАСТЫРУ ЖӘНЕ ЖАСАУ

Жеке шаруашылық немесе жеке меншік үйді электр энергиясымен қамтамасыз ете алатын шағын ГЭС жұмысының ерекшеліктері, конструкциясы, әрекет ету принципін қарау орындалды. Жеке шаруашылықты ұтқыр ГЭС электр энергиясымен жабдықтау жобасы әзірленді. ГЭС орналастыру үшін DN500 құбырын төсеу туралы шешім қабылданды. Таңдалған су шығыны және турбинаны орнату орны ағынының орналасу белгілерінің айырмашылығы қажетті арынды және ГЭС қажетті қуатын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Орындалған техникалық-экономикалық талдау жобаның экономикалық тиімділігін көрсетті.

Жұмыстың жаңалығы мобильді ГЭС қолдану арқылы жеке шаруашылықты электрлендіруден және барлық конструктивті параметрлердің шығу параметрлеріне әсерін бағалай отырып, осы шешімнің артықшылықтары мен кемшіліктерін белгілеуден тұрады.

Зерттеу нәтижелері мобильді ГЭС дайындау үшін, оларды фермер, шаруа қожалықтары жағдайында, жеке аулаларда электр энергиясын үнемдеу мақсатында, сондай-ақ әртүрлі мақсаттағы электр қондырғыларының тәжірибелік-өнеркәсіптік үлгілерін әзірлеу кезінде қолданылуы мүмкін.

Негізгі сөздер: жылжымалы, ГЭС, құбыр, энергетика, экономика.

С. И. Деревягин, И. В. Загозин

Торайғыров университет,
Республика Казахстан, г. Павлодар.
Материал поступил в редакцию 21.12.20.

РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОБИЛЬНОЙ ГЭС

Выполнено рассмотрение принципа действия, конструкции, особенностей работы мини ГЭС, которые могут обеспечивать электроэнергией частное хозяйство или отдельный частный дом. Разработан проект снабжения частного хозяйства электроэнергией от мобильной ГЭС. Для размещения ГЭС принято решение выполнить укладку трубопровода DN500. Выбранный расход воды и разность отметок расположения протоки места установки турбины позволяют обеспечить необходимый напор и требуемую мощность ГЭС. Выполненный технико-экономический анализ показал экономическую эффективность проекта.

Новизна работы состоит в электрификации частного хозяйства с использованием мобильной ГЭС и установлении достоинств и недостатков данного решения с оценкой влияния всех конструктивных параметров на выходные параметры.

Результаты исследования могут быть применены для изготовления мобильных ГЭС с их использованием в условиях фермерских, крестьянских хозяйств, на частных подворьях с целью экономии электроэнергии, а также при разработке опытно-промышленных образцов электроустановок различного назначения.

Ключевые слова: мобильная, ГЭС, трубопровод, мощность, хозяйство.

Ю. В. Буртыль

Белорусский национальный технический университет,
Республика Беларусь, г. Минск

ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ РОВНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

В статье рассматриваются вопросы прогнозирования формирования необратимых деформаций дорожных одежд, как с учетом известных теоретических моделей, так и на основании предложенной автором аппроксимированной модели изменения ровности покрытий дорог во времени.

Ключевые слова: автомобильные дороги, прочность, международный индекс ровности, покрытия, деформации.

ВВЕДЕНИЕ

Деформации в слоях дорожной одежды характеризуют общее снижение прочности конструкции, сопровождаемое дальнейшим разрушением и разуплотнением материалов. Неровности покрытия автомобильной дороги формируются по причинам возникновения необратимых деформаций в покрытии и слоях дорожной одежды, под действием транспортных нагрузок и погодноклиматических факторов. При эксплуатации автомобильной дороги прирост неровностей непосредственно связан с приростом деформаций. Рассматривая процесс накопления неровностей можно утверждать об интенсивности формирования деформаций, и в дальнейшем, прогнозировать снижение прочности дорожной конструкции.

Причинами возникновения неровностей могут быть различные факторы: увлажнение грунтов и несвязных слоев основания, разуплотнение слоев из минеральных материалов, процессы замораживания и оттаивания, высокие положительные температуры, изменение вязкости битумных составляющих, а также срок службы дорожной конструкции и прирост интенсивности движения автомобилей. Все эти факторы формируют неровности с различной периодичностью и интенсивностью, но учитывать их при прогнозировании необходимо в комплексе.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**Исследование процессов формирования деформаций и неровностей дорожных одежд.**

Рассматривая процесс прогнозирования необратимых деформаций, мы одновременно рассматриваем процесс формирования неровностей. Можно утверждать, что эти два процесса взаимосвязаны и отражение деформации

материалов в дорожной одежде на покрытии зависит от общей жесткости дорожной конструкции (1)

$$\Delta l = \varepsilon_N \cdot R, \quad (1)$$

где Δl – неровности, отражаемые на покрытии, мм;

ε_N – суммарная необратимая деформация в слоях дорожной одежды, мм;

R – коэффициент отражения деформаций, учитывающий жесткость дорожной конструкции, $R < 1$.

Деформации и неровности влияют на безопасность движения транспорта и долговечность автомобильной дороги:

а) деформации, отражаемые на покрытии в виде неровностей, увеличивают динамическое воздействие на дорогу и амплитуду колебания колеса, что приводит к скорейшему разрушению как дорожного покрытия, так и подвески автомобиля;

б) при совпадении частоты колебаний автомобиля с собственными частотами колебаний дороги, при движении по неровностям, возникает резкое возрастание амплитуды, что может привести к опрокидыванию автомобиля, особенно при дальнейшем торможении для погашения резонанса;

в) при движении автомобиля по неровностям возможен отрыв колеса от покрытия, что может спровоцировать кратковременную потерю управления автомобилем при высоких скоростях, особенно на мокром покрытии;

г) снижение скорости движения транспортного потока, вследствие широкого разброса частот колебаний автомобиля, вызванных неровностями, приводит к снижению потребительских качеств дороги: пропускной способности, уровня загрузки движением, экологической безопасности.

д) нестабильное движение автомобиля по неровностям приводит к длительному повышенному вниманию и напряжению водителя, что в свою очередь ведет к общей утомляемости и снижению объективной оценки ситуации на дороге.

Структура дорожно-строительных материалов представляет собой систему упругих и вязкопластичных связей, и общая деформация определяется исходя из ее составляющих: обратимой (упругой) и необратимой (пластической).

В зарубежных исследованиях для прогнозирования деформаций разработаны модели, учитывающие такие параметры как напряжения, начальную деформацию в материалах, количество приложенных нагрузок, эмпирические параметры уравнений регрессии, полученные в результате испытаний. В таблице 1 приведены некоторые модели расчета необратимых деформаций (ε_N) зарубежных разработчиков.

Таблица 1 – Формулы для расчета необратимых деформаций при воздействии повторных нагрузок

Формула	Параметры формулы	Разработчик, источник
$\epsilon_N = a + b \cdot \lg N$	N – количество приложенных расчетных нагрузок, единиц a, b – параметры модели	Barksdale R.D., University of Michigan (Англия) [1]
$\epsilon_N = \epsilon_1 + a \cdot \lg N + b \cdot (\lg N)^2$	ϵ_1 – остаточная начальная деформация, возникающая при первом приложении нагрузки, мм; N – количество приложенных расчетных нагрузок, единиц; a, b – параметры модели.	Leng J., North Carolina State university (США) [2]
$\epsilon N = A \cdot ((\sigma_1 - \sigma_3) / \sigma_s)^b \cdot (B + \lg N)$	A, b, B – параметры модели, являющиеся постоянными для различных материалов, σ_1 , σ_3 – нормальные напряжения по площадкам, МПа, σ_s – предельный девиатор напряжений, МПа.	Cheung L.W., the University of Nottingham (Великобритания) [3]
$\epsilon_N = \epsilon_6 \cdot (NE/10^6)^b \cdot [E_{(10^\circ C)} / E_{(15^\circ C)}]^{0.5} \cdot k_c \cdot k_r \cdot k_s$	ϵ_6 – деформация при прохождении 106 циклов нагрузки, мм; NE – количество приложений нагрузки, единиц; $E_{(10^\circ C)}$ – модуль упругости при 10 °С; $E_{(15^\circ C)}$ – модуль упругости при 15 °С; k_c – коэффициент для различных типов асфальтобетона (1-1,5); k_r – коэффициент вероятности; k_s – коэффициент неоднородности грунтов	Petit C., Diakhaté M., Université de Limoges (Франция) [4]
$\epsilon_N = (A + m \cdot N) \cdot (1 - \exp[-B \cdot N])$	N – количество приложенных расчетных нагрузок, единиц; m, A, B – параметры уравнения регрессии.	Wolff H., Visser A. [5]

Представленные модели сориентированы в основном на силовые факторы: прочность дорожной конструкции и величину нагрузки (напряжения). Необратимые деформации наиболее интенсивно формируются при условии превышения фактического количества нагрузок над расчетным значением. Общая схема развития деформации при приложении нагрузки приведена на рисунке 1.

Для дорожной одежды прочность и надежность будут обеспечены при выполнении условия (2)

$$\sum_{i=1}^t \frac{\epsilon_N}{\epsilon_i} \geq 1 \tag{2}$$

где t – расчетный период приложения нагрузки, лет;
 ϵ_N – допустимый объем необратимых деформаций за год, мм;
 ϵ_i – фактический объем необратимых деформаций за год, мм.

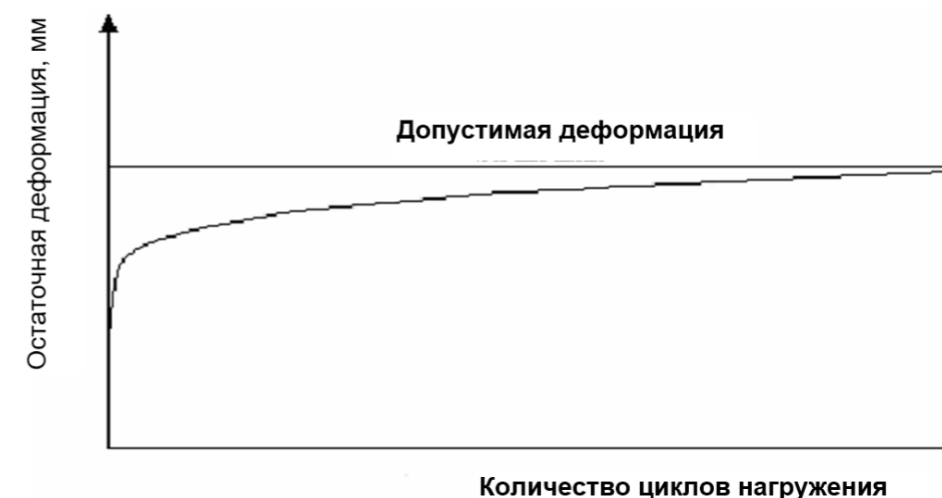


Рисунок 1 – Изменение необратимой деформации при повторных нагрузках

ВЫВОДЫ

В прогнозных моделях не учитывается ряд факторов, оказывающих существенное влияние на процессы формирования необратимой деформации в слоях материалов дорожных конструкций:

а) при воздействии транспортных нагрузок на дорожное покрытие не учитываются усталостные свойства материалов, характеризующиеся не только количеством проходов транспортных средств, но и периодичностью приложения нагрузки в интервалах 0,1–0,01 с.

б) при возникновении переменных напряжений на элементарную площадку асфальтобетонного покрытия: на стадии подъезда транспортного средства к площадке, непосредственного воздействия и воздействия после снятия нагрузки присутствует эффекта Баушингера, при котором пластические деформации формируются при изменении знака напряжений не зависимо от величины нагрузки [6–11].

в) изменение структуры дорожной одежды при перемешивании материалов и свойств битума в асфальтобетоне, влияние водной среды, дефекты на покрытия не позволяют рассматривать объект воздействия – дорожную конструкцию как стабильную систему, имеющую фиксированные прочностные характеристики в течении длительного времени.

г) при высоких температурах асфальтобетонное покрытие работает не только в упругой стадии, но и в пластичной (закон вязкого течения) и в этом случае модель прогнозирования деформаций не будет соответствовать математической модели строго для упругой деформации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Barksdale, R. D.** Laboratory Evaluation of Rutting in Base course materials / R.D. Barksdale // Proceedings of the 3 rd International conference on asphalt pavements, London, September 11–15, 1972 / University of Michigan. – London, 1972. – P. 161–174.

2 **Leng, J.** Characteristics and behavior of geogrid-reinforced aggregate under cyclic load : dissertation submitted Doctor of philosophy : 2002 / J. Leng; North Carolina State university. – North Carolina, USA, 2002. – 152 p.

3 **Cheung, L. W.** Laboratory assessment of pavement foundation materials : dissertation submitted Doctor of philosophy : 1994 / L.W. Cheung ; the University of Nottingham. – Nottingham, United Kingdom, 1994. – 224 p.

4 **Petit, C.** Fatigue performance of interfaces and longitudinal top-down cracking in multilayered pavements / Petit C., Malick D., Millien A., Phelipot-Mardelé A., Pouteau B // Road Materials and Pavement Design. – 2009. – № 10(3). – P. 609–624.

5 **Wolff, H.** Incorporating elasto-plasticity in granular layer pavement design institution of civil engineers transport / Wolff H., Visser A. // Proceedings of Institution of Civil Engineers Transport. – London, 1994. – P. 259–272.

6 **Буртыль, Ю. В.** Критерии эксплуатационной надежности автомобильных дорог с жесткими дорожными одедами / Ю. В. Буртыль // Автомобильные дороги и мосты – 2012. – № 2. – С. 21–31.

7 Дороги автомобильные общего пользования. Диагностика. Определение продольного микропрофиля дорожной поверхности и международного показателя ровности IRI. Общие требования и порядок проведения : СТО МАДИ 02066517.1-2006. – Введ. 14.08.2006. – М., 2006. – 42 с.

8 Дороги автомобильные и аэродромы. Методы измерений неровностей оснований и покрытий : СТ РК 1219-2003. – Введ. 16.07.2003. – Алматы, 2003. – 59 с.

9 Технический регламент Таможенного союза. Безопасность автомобильных дорог : ТР ТС 014/2011. – Введ. 18.11.11. – СПб., 2011. – 30 с.

10 **Бахрах, Г. С.** Сопоставительная модель оценки срока службы дорожных одежд жесткого типа по критерию усталостного растрескивания при их конструировании / Г.С. Бахрах // тр. ГП Росдорнии, Вып. 9. – М., 1998. – С. 51–59.

11 Автомобильные дороги. Нормы проектирования : ТКП 45-3.03-19-2006. – Введ. 26.01.06. – Минск : Минстройархитектуры, 2006. – 42 с.

REFERENCES

1 **Barksdale, R. D.** Laboratory Evaluation of Rutting in Base course materials / R.D. Barksdale // Proceedings of the 3 rd International conference on asphalt pavements, London, September 11–15, 1972 / University of Michigan. – London, 1972. – P. 161–174.

2 **Leng, J.** Characteristics and behavior of geogrid-reinforced aggregate under cyclic load : dissertation submitted Doctor of philosophy : 2002 / J. Leng; North Carolina State university. – North Carolina, USA, 2002. – 152 p.

3 **Cheung, L. W.** Laboratory assessment of pavement foundation materials : dissertation submitted Doctor of philosophy : 1994 / L.W. Cheung ; the University of Nottingham. – Nottingham, United Kingdom, 1994. – 224 p.

4 **Petit, C.** Fatigue performance of interfaces and longitudinal top-down cracking in multilayered pavements / Petit C., Malick D., Millien A., Phelipot-Mardelé A., Pouteau B // Road Materials and Pavement Design. – 2009. – № 10(3). – P. 609–624.

5 **Wolff, H.** Incorporating elasto-plasticity in granular layer pavement design institution of civil engineers transport / Wolff H., Visser A. // Proceedings of Institution of Civil Engineers Transport. – London, 1994. – P. 259–272.

6 **Burtyl', Yu. V.** Kriterii e'kspluatacionnoj nadezhnosti avtomobil'ny'x dorog s nezhestkimi dorozhny'mi odezdami [Burtyl', Yu. V. Criteria for operational reliability of highways with non-rigid road clothing / Yu. V. Burtyl'] // Highways and bridges-2012. – No. 2. – P. 21-31.

7 Dorogi avtomobil'ny'e obshhego pol'zovaniya. Diagnostika. Opredelenie prodol'nogo mikroprofilya dorozhnoj poverxnosti i mezhdunarodnogo pokazatelya rovnosti IRI. Obshhie trebovaniya i poryadok provedeniya [Roads of General use. Diagnostics. Determination of the longitudinal profile of the road surface and the international indicator of evenness IRI. General requirements and procedure]: STO MAD I 02066517.1-2006. – Introduction. 14.08.2006. – M., 2006. – 42 p.

8 Dorogi avtomobil'ny'e i ae'rodromy'. Metody` izmerenij nerovnostej osnovanij i pokry`tij [Automobile roads and airfields. Methods of measurement of unevenness of bases and coatings]: ST RK 1219-2003. – Introduction. 16.07.2003. – Almaty, 2003. – 59 p.

9 Texnicheskij reglament Tamozhennogo soyuza. Bezopasnost` avtomobil'ny'x dorog [Technical regulations of the Customs Union. Road safety] : TR CU 014/2011. – Introduction. 18.11.11. – SPb., 2011. – 30 c.

10 **Bakhrakh, G. S.** Sopostavitel'naya model` ocenki sroka sluzhby` dorozhny'x odezd nezhestkogo tipa po kriteriyu ustalostnogo rastreskivaniya pri ix konstruirovanii [Bakhrakh, G. S. Comparative assessment model for service life road pavement of non-rigid type according to the criterion of fatigue cracking at the design / Bakhrakh G. S.] // proc. GP Rosdornii, Vol. 9. – M., 1998. – S. 51–59.

11 Avtomobil'ny'e dorogi. Normy` proektirovaniya [Road. Design standards]: ТКР 45-3. 03-19-2006. – Introduction. 26.01.06. – Minsk : Minstroyarkhitektury, 2006. – 42 p.

Материал поступил в редакцию 21.12.20.

Ю. В. Буртыль

Белорусь ұлттық техникалық университеті,
Белорусь Республикасы, Минск қ.
Материал 21.12.20 баспаға түсті.

ЖОЛ ТӨСЕМДЕРІ ТЕГІСТІГІНІҢ ӨЗГЕРУІН ЗЕРТТЕУ

Мақалада белгілі теориялық модельдерді ескере отырып, жол жамылғысының қайтымсыз деформацияларының пайда болуын болжау мәселелері қарастырылады, сонымен қатар автор ұсынған уақыт өте келе жол жамылғысының тегістігін өзгерту моделінің негізінде.

Кілтті сөздер: автомобиль жолдары, беріктігі, халықаралық кедір-индексі, жабын, деформация.

Y. V. Burtyl

Belarusian National Technical University,
Republic of Belarus, Minsk.
Material received on 21.12.20.

SCIENTIFIC AND PRACTICAL RESEARCH EVENNESS HIGHWAYS

The article examines the formation of irreversible deformation prediction pavements, as based on the known theoretical models, and on the basis proposed by the author of the approximated model changes evenness of roads over time.

Keywords: highways, strength, international roughness index, coating, deformation.

ГРНТИ 73.29.11

<https://doi.org/10.48081/BJQB1579>

А. Д. Омаров¹, Т. С. Саржанов², Г. С. Мусаева³

^{1,2}Казахский университет путей сообщения,

Республика Казахстан, г. Алматы;

³Казахская академия транспорта и коммуникаций имени М. Тынышпаева,
Республика Казахстан, г. Алматы

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Железнодорожный путь является основой железнодорожного транспорта. Выбор конструкции пути, мощности рельсов, типа скреплений, конструкции и количества укладываемых на километр шпал, род и толщина балластного слоя определяется, в основном, грузонапряженностью, допускаемыми скоростями движения и осевыми нагрузками подвижного состава. Работа земляного полотна и его основания в условиях роста грузонапряженности, осевых нагрузок, скоростей движения поезда все более осложняется.

Таким образом, вопросы обеспечения высокого уровня надежности железнодорожного пути и долговременной стабильности его основания являются актуальными. В статье рассмотрены вопросы расчета устойчивости и прочности земляного полотна.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, железнодорожный путь, земляное полотно, повышение нагрузок, грузонапряженность, устойчивость, прочность.

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение провозной и пропускной способности, повышение эффективности работы АО «НК «Қазақстан темір жолы» для удовлетворения социально-экономических потребностей общества в условиях рыночных отношений связаны с дальнейшим развитием сети железных дорог, в том числе в регионах со сложными природными условиями, строительством скоростных линий, вторых путей, с ростом грузонапряженности, осевых нагрузок, скоростей движения поезда на эксплуатируемых железных дорог, и могут быть обеспечены при высоком уровне надежности железнодорожного пути и долговременной стабильности его основания – земляного полотна.

Работа земляного полотна и его основания в условиях повышения нагрузок на оси, скоростей движения и грузонапряженности, применения новых прогрессивных конструкций верхнего строения пути (бесстыковый путь, железобетонное подрельсовое основание) и незащищенности его от непосредственного воздействия природно-климатических факторов все более осложняется.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Стабильность земляного полотна определяются его устойчивостью и прочностью. Расчеты устойчивости определяют условия сопротивления грунта деформациям сдвига, а расчеты прочности – сопротивляемость грунтов деформациям уплотнения, причем оба вида этих расчетов неразрывно связаны между собой. Стабильность земляного полотна зависит от вида и состояния слагающих его грунтов. Основными показателями качества грунтов являются сдвиговые характеристики – угол внутреннего трения φ и удельное сцепление c , а также плотность и влажность.

Тело земляного полотна находится в напряженном состоянии, обусловленном влиянием внешних сил и собственного его веса. Когда напряжения в грунте превышают определенный предел, возникают остаточные деформации в виде смещения объема грунта как единого целого.

Практические методы расчета устойчивости подразделены на две группы: графо-аналитические и аналитические. Графо-аналитические методы расчета нашли более широкое практическое применение.

Обследованим большого числа натуральных оползней и просто сползших откосов установлено, что поверхность смещения земляных масс в однородных связных близка к круглоцилиндрической. В сыпучих грунтах поверхность смещения близка к плоскости. Поэтому во всех графо-аналитических расчетах, относящихся к однородным грунтам, предполагают, что смещение грунтов при потере устойчивости происходит по круглоцилиндрической поверхности.

Аналитические способы расчета устойчивости откосов земляного полотна для отдельных задач могут быть весьма эффективными. В бывшем СССР такие способы были разработаны В. В. Соколовским, Г. М. Шахунянцем, А. Г. Дорфманом и др. [1, 2, 3]. Способ В. В. Соколовского очень сложен и требует большой вычислительной работы, поэтому он не получил на практике широкого распространения. Способ Г. М. Шахунянца [1, 4, 5, 6, 7] оказался очень удобным и простым для случаев, когда за откосом выемки расположена бесконечная площадка.

Критическое положение плоскости обрушения, при котором коэффициент устойчивости принимает минимальное значение K_{min} , определяется последовательным изменением угла β (рисунок 1) или по формуле:

$$K_{min} = (2U_0 + f)/\text{tg}\alpha + 2 \sqrt{(U_0^2 + U_0 f) / (U_0^2 + U_0 f) / \sin\alpha}, \quad (1)$$

где $U_0 = 2c/\gamma H$;

c – удельное сцепление;

γ – объемный вес грунта;

H – высота откоса;

f – коэффициент внутреннего трения грунта, равный $f = \text{tg}\varphi$,

φ – угол внутреннего трения грунта;

α – угол наклона откоса выемки к горизонту.

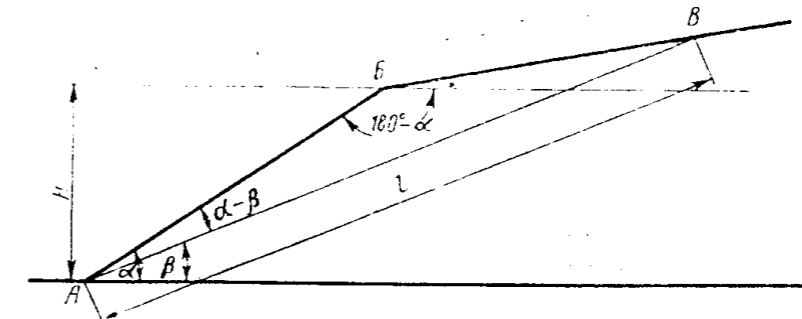


Рисунок 1 – Схема аналитического расчета устойчивости откоса выемки

Представляет практический интерес вариационный метод расчета устойчивости откосов, разработанный А.Г. Дорфманом [3]. Расчет сводится к исследованию на экстремум коэффициента устойчивости как выражения (функционала), зависящего от выбора кривой скольжения и параметров (геометрических и геотехнических) расчетной схемы откоса. Форму линий скольжения заранее не назначают, т.е. опаснейшую линию отыскивают среди всевозможных кривых, а не только среди прямых, окружностей и т.д. При этом отпадает необходимость в поиске критического центра (рисунок 2).

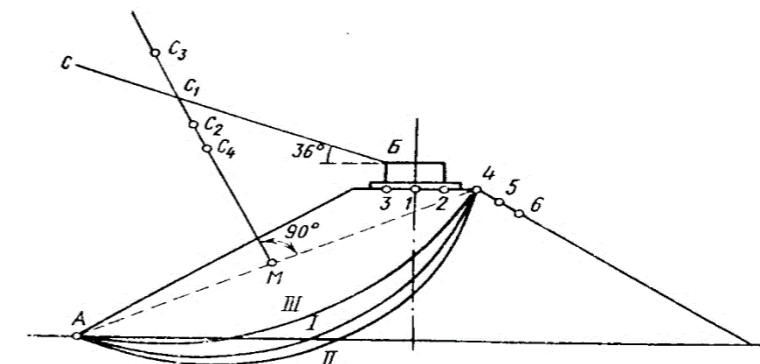


Рисунок 2 – Схема построения линии центров кривых обрушения

Метод позволяет достаточно просто и единообразно рассчитывать откосы при произвольном очертании свободной поверхности, при слоистом строении, на прочном или слабом основании, при действии внешних местных нагрузок, сейсмических, фильтрационных сил т.д. Для наиболее часто встречающихся случаев откосов и нагружений составлены алгоритмы расчетов, легко выполнимых на ЭВМ. Для расчетов устойчивости однородных откосов произвольного профиля разработано портативное аналоговое устройство, дающее на экране осциллографа искомую поверхность скольжения.

Для случаев произвольной однородной насыпи способ вариационного расчета устойчивости, предложенный А. Г. Дорфманом [3], сводится к

следующему. Коэффициент устойчивости K рассматривают как отношение работы удерживающих сил к работе сдвигающих сил и записывают в виде:

$$K = \int_0^{x_n} F dx / \int_0^{x_n} \Phi dx \quad (2)$$

где

$$F = (\hat{y} - y) \operatorname{tg} \varphi + c(1 + y'^2)/\gamma; \Phi = (\hat{y} - y)y', \quad (3)$$

$y = \hat{y}(x)$ – уравнение контура насыпи (c приведенной нагрузкой),

$y = y(x)$ – уравнение линии скольжения,

причем $y_n = \tilde{y}$, если $a < x_n \leq b$ и $y_n = y_n = \hat{y}(x_n)$, если $x_n > b$ или $x_n \leq a$;

x_n, y_n – координаты конца кривой скольжения (начало координат принято на подошве откоса);

\tilde{y} – ордината основной площадки земляного полотна;

a и b – абсциссы, ограничивающие нагрузку на основную площадку земляного полотна.

Уравнение искомой (критической) линии скольжения $y = y(x)$ в развернутом виде имеет вид:

$$y = 0,5\gamma/c \left[t \int_0^x y dx - 0,5x^2 \operatorname{tg} \varphi + Gx \right] \quad (4)$$

$$\text{где } t = \frac{x_n}{0} \{ 2c/\gamma(x_n y_n') + 0,5x_n^2 \operatorname{tg} \varphi \} / \{ x_n \hat{y}_n - \int \hat{y}_n dx \}; \quad (5)$$

$$G = 2cy_n'/\gamma + x_n \operatorname{tg} \varphi - t\tilde{y}_n; \quad (6)$$

Причем

$$y_n = \begin{cases} \sqrt{(1 + (y_n - \tilde{y})v)} & \text{при } a < x_n \leq b, v = \gamma \operatorname{tg} \varphi / c \\ y_n' + \sqrt{(y_n'^2 + 1)} & \text{при } x_n > b \text{ или } x_n \leq a \end{cases} \quad (7)$$

В уравнениях (5), (6) и (7) все величины известны, кроме x_n . Значение x_n находится из уравнения:

$$I(x_n) = \int_0^{x_n} (F - t\Phi) dx = 0 \quad (8)$$

Найденное значение соответствует критической кривой скольжения, для которой (2):

$$t = K, \quad (9)$$

где K – искомый критический коэффициент устойчивости.

Заканчивая краткий обзор известных методов оценки устойчивости склонов и откосов, необходимо обратить внимание на то, что сами методы испытания грунтов с целью определения угла внутреннего трения φ и сцепления с весьма несовершенны. Вот что отмечали, например, М. Н. Гольдштейн и П. Я. Гольденберг [8]: «Испытания в сдвижных приборах дают завышенные значения прочности, так как в них нельзя осуществить закрытую недренируемую систему, как в стабилометре; ... разница тем больше, чем выше нормальное давление и показатель консистенции. Например, при испытаниях грунтов, имеющих одинаковые исходные параметры, получено: в стабилометре $c = 0$; $\varphi = 20^\circ$; на сдвижном приборе $c = 0,3$; $\varphi = 27^\circ$ ». А ведь нас интересуют именно грунты с высокими показателями консистенции. Заметим, однако, что испытания в стабилометрах, возможно, и дают более верные результаты по сравнению с испытаниями в сдвижных приборах, но, как отмечал Н. Я. Денисов [9], это происходит не всегда и даже не в большинстве случаев.

В [10] изложены исследования А. Д. Омарова по определению теоретических законов распределения основных физико-механических и химических характеристик наиболее распространенных в Казахстане грунтов. А. Д. Омаровым, Р.С. Закировым и др. [11] выполнена привязка полученных данных к СНиП 2.02.01.83 и к дорожно-строительному районированию территории Казахстана, данному в СН 229-72 и, расширенному ими. В качестве примера приводим таблицу Б.11 статистических физико-механических характеристик грунтов при строительстве ЖД в южных районах Казахстана (в пятой засушливой зоне по СН 449-72).

Как видно из исследования [11], угол внутреннего трения супеси, суглинка и глины по данным А.Д. Омарова значительно отличается от норм СНиП 2.02.01.83 в большую сторону, а для песка нормативные и экспериментальные данные совпадают. Аналогичный вывод можно сделать и для удельного сцепления вышеперечисленных грунтов.

ВЫВОДЫ

На основании изложенного выше, можно заключить, что известные методы определения устойчивости откосов, например, земляное полотно,

довольно условны и ненадежны. Получаемые результаты могут быть признаны удовлетворительными только для высокопластичных однородных грунтов при $\varphi = \text{const}$ и $c = \text{const}$, т.е. для умеренной климатической полосы. Поэтому назрела необходимость пересмотра положений, на которых базируются указанные методы. Это относится к безоговорочному принятию практически для всех случаев теории разрушения грунтов только от касательных напряжений, к допущению о полной зависимости Куст откоса только от положения в пространстве раз и навсегда принятой круглоцилиндрической или близкой к ней поверхности разрушения. Несоответствие действительных и теоретических поверхностей разрушения давно отмечено Н. Н. Масловым [12], который указал, что нельзя при расчете устойчивости откоса принимать круглоцилиндрическую поверхность разрушения, если геологическое строение откосного массива грунта указывает на какую-либо другую. То же самое можно сказать и о случае, когда на некоторую поверхность разрушения, отличную от круглоцилиндрической, будут указывать факторы сезонных изменений прочностных характеристик грунтов откосного массива, или конфигурация поверхности разрушения будет predeterminedена уменьшением прочности грунта в пределах какого-то блока земляного полотна вследствие появления внутри откосного массива грунта источника подземной воды, то есть изменением состояния грунта основания блока земляного полотна.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Шахунянц, Г. М. Земляное полотно железных дорог. – М. : Трансжелдориздат, 1953. – 828 с.
- 2 Соколовский, В. В. Статика сыпучей среды. – М. : Гостехиздат, 1954. – 276 с.
- 3 Дорфман, А. Г. Вариационный метод исследований устойчивости откосов // В сб. : Вопросы геотехники. – М. : Транспорт, 1965. – Вып. 9. – С. 135.
- 4 Фришман, М. А., Хохлов, И. Н., Титов, В. П. Земляное полотно железных дорог. – М. : Транспорт, 1972. – 288 с.
- 5 Казакбаев, К. К., Смирнов, С. Н. Устойчивость откосов выемок на косогорах. – Ташкент : Фан, 1975. – 128 с.
- 6 Шахунянц, Г. М. Железнодорожный путь: Учебник для вузов ж.-д. трансп. – 3 изд. перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1987. – 479 с.
- 7 Яковлева, Т. Г. и др. Основы устройства и расчетов железнодорожного пути / Под ред. С.В. Амелина. – М. : Транспорт, 1990. – 367 с.
- 8 Гольдштейн, М. Н., Гольденберг, П. Я. О прочности лессовидных грунтов // Гидротехническое строительство. – 1958. – № 4. – С. 9-21.
- 9 Денисов, Н. Я. Принцип эффективных напряжений и устойчивость глинистых грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1963. – № 2. – С. 25-31.
- 10 Омаров, А. Д. Грунтовый фон оснований железных дорог Казахстана / Под ред. д-ра техн. наук проф. Кабашева Р. А. – Алматы : Ғылым, 1998. – 110 с.

- 11 Омаров, А. Д., Закиров, Р. С., Лесов, К. С. Проектирование, строительство и содержание железнодорожного пути в Казахстане: Учебное пособие / Под ред. Р. С. Закирова. – Алматы : Бастау, 2000. – Ч. 1. – 212 с.
- 12 Маслов, Н. Н. Прикладная механика грунтов. – М. : Машстройиздат, 1949. – С. 9.

Материал поступил в редакцию 21.12.20.

А. Ж. Омаров¹, Т. С. Саржанов², Г. С. Мусаева³

^{1,2}Қазақ қатынас жолдары университеті,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

³М. Тынышбаев атындағы Қазақ көлік және коммуникациялар академиясы,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Материал 21.12.20 баспаға түсті.

ЖОЛ ТӨСЕМЕСІНІҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН ЕСЕПТЕУДІҢ КЕЙБІР МӘСЕЛЕЛЕРІ

Теміржол трассасы – теміржол көлігінің негізі болып табылады. Жол құрылысын таңдау рельстің беріктігін, бекіткіштердің түрін, километрге төселген шпалдардың құрылымын және санын, балласт қабатының түрі мен қалыңдығын таңдау негізінен жүктеме қарқындылығымен рұқсат етілген жылдамдықтары және осьтік жүктемелерімен анықталады.

Осылайша, теміржол жолдарының сенімділігінің жоғары деңгейін және оның іргетасының ұзақ мерзімді тұрақтылығын қамтамасыз ету мәселелері өзекті болып табылады. Мақалада жол төсемесінің тұрақтылығы мен беріктігін есептеу мәселелері қарастырылған.

Кілтті сөздер: теміржол көлігі, темір жол трассасы, жол төсемесі, жүк қарқындылығы, жүк тығыздығы, тұрақтылық, беріктік.

A. D. Omarov¹, T. S. Sarzhanov², G. S. Musayeva³

^{1,2}Kazakh University Ways of Communications,

Republic of Kazakhstan, Almaty;

³M. Tynyshpayev Kazakh Academy of Transport and communications,

Republic of Kazakhstan, Almaty.

Material received on 21.12.20.

SOME QUESTIONS OF STABILITY CALCULATION ROADBED

The railway track is the basis of railway transport. The choice of track design, rail capacity, and type of fastenings, construction and number of sleepers laid per kilometer, the type and the load, permissible speeds and axial loads of the rolling stock, mainly determines thickness of the ballast layer. The work of the roadbed and its base in the conditions of increasing load, axial loads, and train speeds is becoming more and more complicated.

Thus, the issues of ensuring a high level of reliability of the railway track and long-term stability of its foundation are relevant. The article discusses the issues of calculating the stability and strength of the roadbed.

Keywords: railway transport, railway track, roadbed, increased loads, load capacity, stability, strength.

ГРНТИ 30.19.15

<https://doi.org/10.48081/TWLR9106>

М. И. Котова¹, В. Н. Украинаец², Е. М. Ибраева³

¹Институт математики и математического моделирования, Республика Казахстан, г. Алматы;

^{2,3}Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

РЕАКЦИЯ УПРУГОГО ПОЛУПРОСТРАНСТВА НА ДВИЖУЩУЮСЯ ПО ПОВЕРХНОСТИ ПОЛОСТИ ПЕРИОДИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ

Исследуется модельная для тоннеля мелкого заложения задача о действии на упругое полупространство периодической нагрузки, равномерно движущейся по поверхности круговой цилиндрической полости с различными дозвуковыми скоростями. Движение полупространства описывается динамическими уравнениями теории упругости в подвижной системе координат, для решения которых предложен метод неполного разделения переменных. Показано, что во избежание обрушения кровли тоннеля мелкого заложения, а также воздействия поверхностных Рэлеевских волн на наземные строительные сооружения и возможности возникновения в последних резонансных колебаний, скоростной режим транспортируемых по тоннелю объектов должен быть ниже Рэлеевской скорости.

Ключевые слова: упругое полупространство, реакция упругого полупространства, цилиндрическая полость, периодическая нагрузка, напряженно-деформированное состояние, Рэлеевские волны, тоннель мелкого заложения, модельная задача.

ВВЕДЕНИЕ

Одна из основных проблем проектирования транспортных тоннелей – определение безопасного диапазона скоростей движущихся объектов, при котором возникающая вследствие этого движения вибрация окружающего тоннель породного массива не оказывала бы неблагоприятного воздействия на само подземное сооружение и расположенные вблизи наземные сооружения. Модельными для таких исследований являются задачи для упругого полупространства, ослабленного полостью [1–6].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методы математического моделирования с привлечением моделей механики деформируемого твёрдого тела.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данная статья рассмотрена, одобрена и рекомендована к изданию на заседании кафедры «Архитектура и дизайн» НАО «Торайгыров университет».

Рассмотрим бесконечно длинную круговую цилиндрическую полость радиусом R, расположенную в линейно-упругом, однородном и изотропном полупространстве, отнесённому к подвижной декартовой $x, y, \eta = z - ct$ или цилиндрической системе координат $r, \theta, \eta = z - ct$ (рисунок 1). В декартовой системе координат ось z совпадает с осью полости, параллельной свободной от нагрузок плоской границе полупространства, а ось x перпендикулярна к этой границе ($x \leq h$).

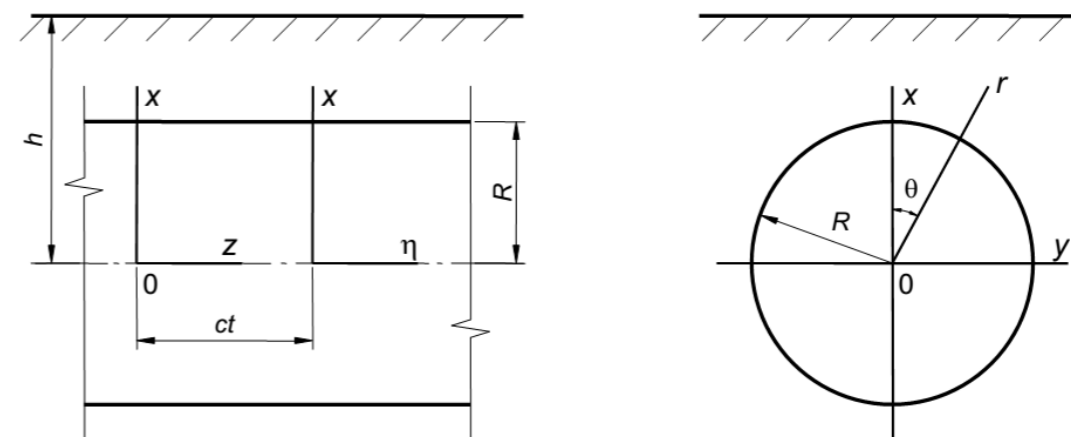


Рисунок 1 – Полость в упругом полупространстве

Пусть на поверхность полости действует движущаяся с постоянной скоростью c , меньшей, чем скорость распространения волн сдвига в среде (дозвуковой случай), в направлении оси z нагрузка интенсивностью $P(\theta, \eta)$, периодичная по η и представима в виде синусоидальной нагрузки с произвольной зависимостью от угловой координаты

$$P(\theta, \eta) = p(\theta)e^{i\zeta\eta}, \quad p(\theta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_n e^{in\theta}, \tag{1}$$

$$P_j(\theta, \eta) = p_j(\theta)e^{i\zeta\eta}, \quad p_j(\theta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_{nj} e^{in\theta}, \quad j = r, \theta, \eta,$$

где $P_j(\theta, \eta)$ – составляющие интенсивности подвижной нагрузки $P(\theta, \eta)$.

Граничные условия на поверхности полости, при этом, имеют вид

$$\sigma_{rj}|_{r=R} = P_j(\theta, \eta), \quad j = r, \theta, \eta, \quad (2)$$

где σ_{rj} – компоненты тензора напряжений в среде.

Так как граница полупространства свободна от нагрузок, то, при $x = h$

$$\sigma_{xx} = \sigma_{xy} = \sigma_{x\eta} = 0. \quad (3)$$

Определим реакцию полупространства на данную подвижную нагрузку.

Для этого воспользуемся уравнениями движения упругой среды в подвижной системе координат [1, 2]

$$(M_p^{-2} - M_s^{-2}) \text{grad div } \mathbf{u} + M_s^{-2} \nabla^2 \mathbf{u} = \partial^2 \mathbf{u} / \partial \eta^2. \quad (4)$$

Здесь \mathbf{u} – вектор смещения упругой среды, $M_p = c/c_p$, $M_s = c/c_s$ – числа Маха, $c_p = \sqrt{(\lambda + 2\mu)/\rho}$, $c_s = \sqrt{\mu/\rho}$ – скорости распространения волн расширения-сжатия и сдвига в среде, $\lambda = 2\mu\nu/(1-2\nu)$, μ – модуль сдвига, ν – коэффициент Пуассона, ρ – плотность, ∇^2 – оператор Лапласа.

Вектор \mathbf{u} можно выразить через потенциалы Ламе [7, 8]

$$\mathbf{u} = \text{grad } \varphi_1 + \text{rot}(\varphi_2 \mathbf{e}_\eta) + \text{rot rot}(\varphi_3 \mathbf{e}_\eta), \quad (5)$$

которые, как следует из (4) и (5), удовлетворяют уравнениям

$$\nabla^2 \varphi_j = M_j^2 \partial^2 \varphi_j / \partial \eta^2, \quad j = 1, 2, 3, \quad (6)$$

где $M_1 = M_p$, $M_2 = M_3 = M_s$.

В установившемся состоянии зависимость всех величин от h имеет вид (1), поэтому $\varphi_j(r, \theta, \eta) = \Phi_j(r, \theta) e^{i\zeta \eta}$. Подставляя последнее выражение в (6), получим

$$\nabla_2^2 \Phi_j - m_j^2 \zeta^2 \Phi_j = 0, \quad j = 1, 2, 3, \quad (7)$$

где ∇_2^2 – двумерный оператор Лапласа, $m_j = (1 - M_j^2)^{1/2}$.

Выразив компоненты напряжённо-деформированного состояния (НДС) среды через потенциалы Ламе можно получить выражения для перемещений u_l и напряжений σ_{lm} от синусоидальной нагрузки в декартовой ($l = x, y, \eta$, $m = x, y, \eta$) и цилиндрической ($l = r, \theta, \eta$, $m = r, \theta, \eta$) системах координат как функции от Φ_j .

В дозвуковом случае $M_s < 1$ ($m_2 = m_3 > 0$) и решения уравнений (7) можно представить через суперпозиции поверхностных цилиндрических $\Phi_j^{(1)}$ и плоских $\Phi_j^{(2)}$ волн [1, 2]

$$\Phi_j = \Phi_j^{(1)} + \Phi_j^{(2)}, \quad (8)$$

$$\Phi_j^{(1)} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n K_n(k_j r) e^{in\theta}, \quad (9)$$

$$\Phi_j^{(2)} = \int_L g_j(\xi, \zeta) \exp(iy\zeta + (x-h)\sqrt{\zeta^2 + k_j^2}) d\zeta. \quad (10)$$

Здесь $K_n(k_j r)$ – функции Макдональда, $k_j = |m_j \xi|$; $g_j(\xi, \zeta)$, a_{nj} – неизвестные функции и коэффициенты, подлежащие определению.

Выбор контура L связан с особенностями функций $g_j(\xi, \zeta)$.

Слагаемые рядов Фурье-Бесселя в (9) – частные решения уравнений (7) – описывают излучаемые цилиндрической полостью и затухающие на бесконечности ($r \rightarrow \infty$) волны, если

$$\text{Re } k_j > 0. \quad (11)$$

При действительных $\xi \neq 0$ $k_j = m_j |\xi| > 0$, и условия (11) выполнены.

Подынтегральные функции в (10), также удовлетворяющие уравнениям (7), описывают плоские гармонические волны, отражённые границей полупространства и затухающие при $x \rightarrow -\infty$, если

$$\text{Re} \sqrt{\zeta^2 + k_j^2} \geq 0, \quad \text{Im} \sqrt{\zeta^2 + k_j^2} \leq 0. \quad (12)$$

Условия на радикалы (12) – это условия излучения для отражённых от границы полупространства волн. Первое из них даёт затухание решений на бесконечности. Второе условие, в соответствии с физическими представлениями, показывает, что отражённые волны движутся от границы полупространства. Поэтому контур L в комплексной плоскости $\zeta = \zeta_1 + i\zeta_2$ следует выбрать таким образом, чтобы на нём выполнялись условия (12).

Допустим, что $L = (-\infty, \infty)$, то есть совпадает с действительной осью $\zeta_1 \equiv \zeta$. Тогда

$$\Phi_j^{(2)} = \int_{-\infty}^{\infty} g_j(\xi, \zeta) \exp(iy\zeta + (x-h)\sqrt{\zeta^2 + k_j^2}) d\zeta. \quad (13)$$

В этом случае условия (12) выполнены, если фиксировать положительный знак радикала.

Пусть коэффициенты a_{nj} известны (что соответствует задаче об излучателе, движущемся вдоль оси z , потенциал которого задан в виде (9)). Выразим $g_j(x,z)$ через a_{nj} . Для этого разложим (9) на плоские волны. Воспользуемся представлением [1] для $M_j < 1$.

$$K_n(kr)e^{in\theta} = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \left(\frac{\zeta + \sqrt{\zeta^2 + k^2}}{k} \right)^n \frac{\exp(iy\zeta - x\sqrt{\zeta^2 + k^2})}{\sqrt{\zeta^2 + k^2}} d\zeta, \quad (14)$$

$$\operatorname{Re}\sqrt{\zeta^2 + k^2} \geq 0, \quad \operatorname{Re}k \geq 0, \quad x > 0.$$

Подставляя (14) в (8), представим потенциалы в декартовой системе координат

$$\Phi_j = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{e^{-xf_j}}{2f_j} \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nj} \Phi_{nj} + g_j(\xi, \zeta) e^{(x-h)f_j} \right] e^{iy\zeta} d\zeta, \quad (15)$$

где $f_j = \sqrt{\zeta^2 + k_j^2}$, $\Phi_{nj} = \left(\frac{\zeta + f_j}{k_j} \right)^n$, $j = 1, 2, 3$.

Воспользуемся граничными условиями (3), с учётом (15). Выделяя коэффициенты при $e^{iy\zeta}$ и приравнявая, в силу произвольности y , их нулю, получим систему трёх уравнений, из которой определяем $g_i(\xi, \zeta)$

$$g_j(\xi, \zeta) = \sum_{k=1}^3 \frac{\Delta_{jk}^*}{\Delta_*} e^{-hf_k} \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nk} \Phi_{nk}. \quad (16)$$

Здесь $\Delta_* = (2\rho_*^2 - \beta^2)^2 - 4\rho_*^2 \sqrt{\rho_*^2 - \alpha^2} \sqrt{\rho_*^2 - \beta^2}$;

$$\Delta_{11}^* = \frac{\Delta_*}{2\sqrt{\rho_*^2 - \alpha^2}} - \frac{(2\rho_*^2 - \beta^2)^2}{\sqrt{\rho_*^2 - \alpha^2}}, \Delta_{12}^* = -2\zeta(2\rho_*^2 - \beta^2), \Delta_{13}^* = 2\xi(2\rho_*^2 - \beta^2)\sqrt{\rho_*^2 - \beta^2};$$

$$\Delta_{21}^* = -\frac{M_s^2}{m_s^2} \Delta_{12}^*, \quad \Delta_{22}^* = -\frac{\Delta_{**}}{2\sqrt{\rho_*^2 - \beta^2}}, \quad \Delta_{23}^* = -4\xi\zeta \frac{M_s^2}{m_s^2} \sqrt{\rho_*^2 - \alpha^2} \sqrt{\rho_*^2 - \beta^2};$$

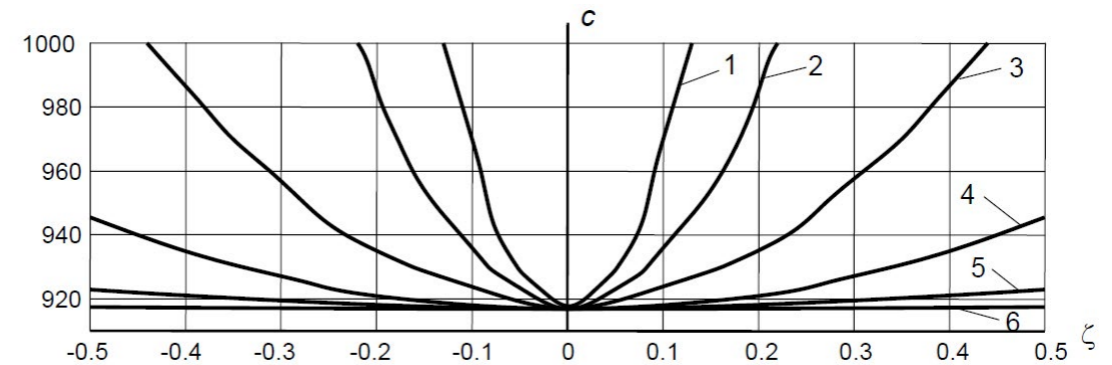
$$\Delta_{31}^* = -\frac{\Delta_{13}^*}{m_s^2 \xi^2}, \quad \Delta_{32}^* = \frac{\Delta_{21}^*}{\beta^2}, \quad \Delta_{33}^* = -\frac{\Delta_{**}}{2\sqrt{\rho_*^2 - \beta^2}} + \frac{(2\rho_*^2 - \beta^2)^2}{\sqrt{\rho_*^2 - \beta^2}};$$

$$\alpha = M_p \xi; \quad \beta = M_s \xi; \quad \rho_*^2 = \xi^2 + \zeta^2; \quad \Delta_{**} = (2\rho_*^2 - \beta^2)^2 - 4\rho_*^2 \sqrt{\rho_*^2 - \alpha^2} \sqrt{\rho_*^2 - \beta^2};$$

$$\rho_{**}^2 = \xi^2 + (2/m_s^2 - 1)\zeta^2.$$

Заметим, что $\Delta_*(\rho_*)$ – определитель Рэлея, который обращается в ноль при $\rho_{*R}^2 = \xi^2 M_R^2$, или в двух точках $\pm \zeta_R = \pm \xi \sqrt{M_R^2 - 1}$, где $M_R = c/c_R$ – число Маха, c_R – скорость поверхностной волны Рэлея, которую условимся называть рэлеевской скоростью. Из последнего следует, что $\Delta_*(\rho_*)$ не обращается в ноль на действительной оси, если $M_R < 1$, или $c < c_R$, то есть при дорэлеевских скоростях движения нагрузки. В этом случае в качестве контура интегрирования L в (10) можно сохранить ось ζ_1 , так как все подынтегральные функции непрерывны и достаточно быстро стремятся к нулю на бесконечности, что можно показать, используя свойство ограниченности носителя бегущей граничной нагрузки. Поэтому интегралы (13) существуют и удовлетворяют условиям затухания на бесконечности. То есть решение в этом случае построено. Следует отметить, что Рэлеевская скорость c_R несколько ниже скорости волн сдвига в среде [9].

На рисунке 2 изображены графики $c(\zeta)$, соответствующие уравнению $D^*(r^*) = 0$ для разных значений ξ ($\xi = 0,3; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 16,0$). Расчёты проведены для алевролита: $\nu = 0,2$, $\mu = 2,532 \times 10^9$ Па, $\rho = 2,5 \times 10^3$ кг/м³, $c_p = 1643,4$ м/с, $c_s = 1006,4$ м/с, $c_R = 917$ м/с.



Обозначения кривых: $\xi=0,3$ (1); $\xi=0,5$ (2); $\xi=1,0$ (3); $\xi=2,0$ (4); $\xi=4,0$ (5); $\xi=16,0$ (6).

Рисунок 2 – графики $c(\zeta)$, соответствующие уравнению $\Delta_*(\rho_*) = 0$ для разных значений ξ ($\xi = 0,3; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 16,0$)

Из рисунка видно, что все кривые имеют одинаковый минимум $c = c_R = 917$ м/с при $\zeta = 0$ и любых $\xi \neq 0$. Причём, с возрастанием ξ кривые стремятся занять положение прямой $c = c_R$, то есть при $\xi \rightarrow \infty \Delta_*(\rho_*) = 0$ для любых ζ , если $c = c_R$. Действительно, корень уравнения $\Delta_*(\rho_*) = 0 \quad c = |\rho_*|c_R/|\xi|$ в пределе при $\xi \rightarrow \infty$ равен c_R .

При сверхрэлеевских скоростях движения нагрузки $c_R < c < c_s (M_R > 1)$ для фиксированных значений c и $\zeta \Delta_*(\rho_*) = 0$ в точках $\pm \zeta_R$ действительной оси ζ_1 , где подынтегральные функции в (10) имеют полюса первого порядка, то есть неинтегрируемые особенности. Поэтому интегралы (10) не существуют в обычном смысле. Однако, деформируя контур интегрирования L с обходом особенностей в точках $\pm \zeta_R$ по ϵ -полуокружностям в областях, где выполняются условия излучения (12) и устремляя ϵ к нулю, можно получить решение и в этом случае:

$$\Phi_j = \text{V.P.} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{e^{-xf_j}}{2f_j} \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nj} \Phi_{nj} + e^{(x-h)f_j} \sum_{k=1}^3 \frac{\Delta_{jk}^*}{\Delta_*} e^{-hf_k} \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nk} \Phi_{nk} \right] e^{iy\zeta} d\zeta -$$

$$- i\pi \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=1}^3 a_{nk} \left\{ \frac{e^{(x-h)f_j - iy\zeta_R}}{\Delta_{\zeta}^*} \Delta_{jk}^* e^{-hf_k} \Phi_{nk} \Big|_{\zeta=-\zeta_R} - \frac{e^{(x-h)f_j + iy\zeta_R}}{\Delta_{\zeta}^*} \Delta_{jk}^* e^{-hf_k} \Phi_{nk} \Big|_{\zeta=\zeta_R} \right\}$$

Здесь в формуле во второй строке стоят вычеты подынтегральных функций в указанных точках, $\Delta_{\zeta}^* = \frac{\partial \Delta_*(\xi, \zeta)}{\partial \zeta}$. Используя асимптотические свойства интеграла в смысле главного значения, из этой формулы следует, что при $y \rightarrow \pm\infty$

$$\Phi_j \approx 2\pi i \operatorname{sgn} y \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=1}^3 a_{nk} \frac{e^{(x-h)f_j \mp iy\zeta_R}}{\Delta_{\zeta}^*} \Delta_{jk}^* e^{-hf_k} \Phi_{nk} \Big|_{\zeta=\mp\zeta_R}.$$

С учетом множителя $\exp(i\xi\eta)$ отсюда следует, что при сверхрэлеевских скоростях движения нагрузки на свободной поверхности полупространства $x = h$ возникают рэлеевские волны, распространяющиеся в полуплоскости ($y > 0, \eta$) в направлении волнового вектора (ζ_R, ξ) , а в полуплоскости ($y < 0, \eta$) – в направлении $(-\zeta_R, \xi)$.

При $c = c_R$ подынтегральные функции в (10) имеют сильные, неинтегрируемые даже в смысле главного значения особенности. Стационарного решения задачи в этом случае не существует (амплитуды вынужденных волн неограниченно возрастают).

Для дорэлеевской скорости движения нагрузки выражения (15), с учетом (16), переписутся в виде

$$\Phi_j = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{e^{-xf_j}}{2f_j} \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nj} \Phi_{nj} + e^{(x-h)f_j} \sum_{k=1}^3 \frac{\Delta_{jk}^*}{\Delta_*} e^{-hf_k} \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nk} \Phi_{nk} \right] e^{iy\zeta} d\zeta. \quad (17)$$

С учетом (17) формулы для вычислений компонент напряженно-деформированного состояния полупространства в декартовых координатах можно представить в виде

$$u_l = \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{j=1}^3 \left(T_{lj}^{(1)} F_{nj}^{(1)} + T_{lj}^{(2)} F_{nj}^{(2)} \right) e^{i(y\zeta + \xi\eta)} d\zeta, \quad (18)$$

$$\frac{\sigma_{lm}}{\mu} = \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{j=1}^3 \left(S_{lmj}^{(1)} F_{nj}^{(1)} + S_{lmj}^{(2)} F_{nj}^{(2)} \right) e^{i(y\zeta + \xi\eta)} d\zeta.$$

Здесь: $l = x, y, \eta, \quad m = x, y, \eta;$

$$F_{nj}^{(1)} = \frac{e^{-xf_j}}{2f_j} \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nj} \Phi_{nj}, \quad F_{nj}^{(2)} = e^{(x-h)f_j} \sum_{k=1}^3 \frac{\Delta_{jk}^*}{\Delta_*} e^{-hf_k} \sum_n a_{nk} \Phi_{nk};$$

$$T_{x1}^{(1)} = -T_{x1}^{(2)} = -f_1, \quad T_{x2}^{(1)} = T_{x2}^{(2)} = -\zeta, \quad T_{x3}^{(1)} = -T_{x3}^{(2)} = f_3 \xi;$$

$$T_{y1}^{(1)} = T_{y1}^{(2)} = i\zeta, \quad T_{y2}^{(1)} = -T_{y2}^{(2)} = if_2, \quad T_{y3}^{(1)} = T_{y3}^{(2)} = -i\xi\zeta;$$

$$T_{\eta 1}^{(1)} = T_{\eta 1}^{(2)} = i\xi, \quad T_{\eta 2}^{(1)} = T_{\eta 2}^{(2)} = 0, \quad T_{\eta 3}^{(1)} = T_{\eta 3}^{(2)} = -im_s^2 \xi^2;$$

$$S_{xx1}^{(1)} = S_{xx1}^{(2)} = n_2 + 2(f_1^2 - \xi^2 m_p^2), \quad S_{xx2}^{(1)} = -S_{xx2}^{(2)} = 2\zeta f_2, \quad S_{xx3}^{(1)} = S_{xx3}^{(2)} = -2f_3^2 \xi;$$

$$S_{yy1}^{(1)} = S_{yy1}^{(2)} = n_2 - 2(\zeta^2 + \xi^2 m_p^2), \quad S_{yy2}^{(1)} = -S_{yy2}^{(2)} = -2f_2 \zeta, \quad S_{yy3}^{(1)} = S_{yy3}^{(2)} = 2\xi \zeta^2;$$

$$S_{\eta\eta 1}^{(1)} = S_{\eta\eta 1}^{(2)} = n_2 - 2n_1, \quad S_{\eta\eta 2}^{(1)} = S_{\eta\eta 2}^{(2)} = 0, \quad S_{\eta\eta 3}^{(1)} = S_{\eta\eta 3}^{(2)} = 2m_s^2 \xi^3;$$

$$S_{xy1}^{(1)} = -S_{xy1}^{(2)} = -2f_1 \zeta i, \quad S_{xy2}^{(1)} = S_{xy2}^{(2)} = -(f_2^2 + \zeta^2) i, \quad S_{xy3}^{(1)} = -S_{xy3}^{(2)} = 2f_3 \xi \zeta i;$$

$$S_{\eta y 1}^{(1)} = S_{\eta y 1}^{(2)} = -2\xi \zeta, \quad S_{\eta y 2}^{(1)} = -S_{\eta y 2}^{(2)} = -\xi f_2, \quad S_{\eta y 3}^{(1)} = S_{\eta y 3}^{(2)} = n_2 \zeta;$$

$$S_{x\eta 1}^{(1)} = -S_{x\eta 1}^{(2)} = -2f_1 \xi i, \quad S_{x\eta 2}^{(1)} = S_{x\eta 2}^{(2)} = -\xi \zeta i, \quad S_{x\eta 3}^{(1)} = -S_{x\eta 3}^{(2)} = n_2 f_3 i;$$

$$n_1 = (1 + m_p^2) \xi^2, \quad n_2 = (1 + m_s^2) \xi^2.$$

Представим Φ_j (8) в цилиндрической системе координат при $c < c_R$.

Используя идею аналитического продолжения из разложения [10] $e^{ikr \cos \theta} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} i^n J_n(kr) e^{in\theta}$, можно найти представление для поверхностной волны [1]

$$\exp(iy\zeta + (x-h)\sqrt{\zeta^2 + k^2}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} I_n(kr) e^{in\theta} \left(\frac{\zeta + \sqrt{\zeta^2 + k^2}}{k} \right)^n e^{-h\sqrt{\zeta^2 + k^2}}.$$

Тогда в цилиндрической системе координат для $x < h$ получим

$$\Phi_j = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left(a_{nj} K_n(k_j r) + I_n(k_j r) \int_{-\infty}^{\infty} g_j(\xi, \zeta) \Phi_{nj} e^{-h f_j} d\zeta \right) e^{in\theta}.$$

Подставляя в последнее выражение из (16) $g_j(\xi, \zeta)$, находим

$$\Phi_j = \sum_{n=-\infty}^{\infty} (a_{nj} K_n(k_j r) + b_{nj} I_n(k_j r)) e^{in\theta}, \quad (19)$$

где $b_{nj} = \sum_{k=1}^3 \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_{mk} A_{nj}^{mk}$, $A_{nj}^{mk} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Delta_{jk}^*}{\Delta^*} \Phi_{mk} \Phi_{nj} e^{-h(f_k + f_j)} d\zeta$.

С учетом (19) формулы для вычислений компонент НДС полупространства в цилиндрических координатах можно представить в виде

$$u_l = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{j=1}^3 [T_{lj}^{(1)}(K_n(k_j r)) a_{nj} + T_{lj}^{(2)}(I_n(k_j r)) b_{nj}] e^{i(\xi\eta + n\theta)}, \quad (20)$$

$$\frac{\sigma_{lm}}{\mu} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{j=1}^3 [S_{lmj}^{(1)}(K_n(k_j r)) a_{nj} + S_{lmj}^{(2)}(I_n(k_j r)) b_{nj}] e^{i(\xi\eta + n\theta)}.$$

Здесь $l = r, \theta, \eta$, $m = r, \theta, \eta$;

$$T_{r1}^{(1)} = k_1 K_n'(k_1 r), \quad T_{r2}^{(1)} = -\frac{n}{r} K_n(k_2 r), \quad T_{r3}^{(1)} = -\xi k_3 K_n'(k_3 r);$$

$$T_{\theta 1}^{(1)} = \frac{n}{r} K_n(k_1 r) \cdot i, \quad T_{\theta 2}^{(1)} = -k_2 K_n'(k_2 r) \cdot i, \quad T_{\theta 3}^{(1)} = -\frac{n}{r} \xi K_n(k_3 r) \cdot i;$$

$$T_{\eta 1}^{(1)} = \xi K_n(k_1 r) \cdot i, \quad T_{\eta 2}^{(1)} = 0, \quad T_{\eta 3}^{(1)} = -k_3^2 K_n(k_3 r) \cdot i;$$

$$S_{rr1}^{(1)} = 2 \left(k_1^2 + \frac{n^2}{r^2} - \frac{\lambda M_p^2 \xi^2}{2\mu} \right) K_n(k_1 r) - \frac{2k_1 K_n'(k_1 r)}{r};$$

$$S_{rr2}^{(1)} = \frac{2n}{r^2} K_n(k_2 r) - \frac{2k_2 K_n'(k_2 r)}{r};$$

$$S_{rr3}^{(1)} = -2\xi \left(k_3^2 + \frac{n^2}{r^2} \right) K_n(k_3 r) + \frac{2\xi k_3 K_n'(k_3 r)}{r};$$

$$S_{\theta\theta 1}^{(1)} = -2 \left(\frac{n^2}{r^2} + \frac{\lambda M_p^2 \xi^2}{2\mu} \right) K_n(k_1 r) + \frac{2k_1 K_n'(k_1 r)}{r};$$

$$S_{\theta\theta 2}^{(1)} = -\frac{2n K_n(k_2 r)}{r^2} + \frac{2nk_2 K_n'(k_2 r)}{r};$$

$$S_{\theta\theta 3}^{(1)} = \frac{2\xi n^2 K_n(k_3 r)}{r^2} - \frac{2\xi k_3 K_n'(k_3 r)}{r};$$

$$S_{\eta\eta 1}^{(1)} = -2\xi^2 \left(\frac{1 + \lambda M_p^2}{2\mu} \right) K_n(k_1 r), \quad S_{\eta\eta 2}^{(1)} = 0, \quad S_{\eta\eta 3}^{(1)} = 2m_3^2 \xi^3 K_n(k_3 r);$$

$$S_{r\theta 1}^{(1)} = \left(-\frac{2n K_n(k_1 r)}{r^2} + \frac{2nk_1 K_n'(k_1 r)}{r} \right) \cdot i;$$

$$S_{r\theta 2}^{(1)} = \left(-\left(k_2^2 + \frac{2n^2}{r^2} \right) K_n(k_2 r) + \frac{2k_2 K_n'(k_2 r)}{r} \right) \cdot i;$$

$$S_{r\theta 3}^{(1)} = \left(\frac{2n\xi K_n(k_3 r)}{r^2} - \frac{2n\xi k_3 K_n'(k_3 r)}{r} \right) \cdot i;$$

$$S_{\theta\eta 1}^{(1)} = -\frac{2n\xi K_n(k_1 r)}{r}, \quad S_{\theta\eta 2}^{(1)} = \xi k_2 K_n'(k_2 r), \quad S_{\theta\eta 3}^{(1)} = \frac{n\xi^2 (1 + m_3^2) K_n(k_3 r)}{r};$$

$$S_{r\eta 1}^{(1)} = 2\xi k_1 K_n'(k_1 r) \cdot i, \quad S_{r\eta 2}^{(1)} = -\frac{\xi n K_n(k_2 r) \cdot i}{r}, \quad S_{r\eta 3}^{(1)} = -\xi^2 k_3 (1 + m_3^2) K_n'(k_3 r) \cdot i;$$

$$K_n'(kr) = \frac{dK_n(kr)}{d(kr)}.$$

$T_{lj}^{(2)}$, $S_{lmj}^{(2)}$ получаются из $T_{lj}^{(1)}$, $S_{lmj}^{(1)}$ заменой $K_n(k_j r)$ на $I_n(k_j r)$.

Для определения коэффициентов a_{nj} воспользуемся граничными условиями (2), с учётом (1), (20). Приравнявая коэффициенты рядов Фурье при $\text{in} \rho$, получим

бесконечную систему линейных алгебраических уравнений с определителем нормального типа

$$\mu \sum_{j=1}^3 [S_{rmj}^{(1)}(K_n(k_j R))a_{nj} + S_{rmj}^{(2)}(I_n(k_j R))b_{nj}] = P_{nm}, \quad (21)$$

$m = r, \theta, \eta, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

При численной реализации задачи, для решения системы уравнений (21) удобно пользоваться методом последовательных отражений. Для этого представим Φ_j в виде $\Phi_j = \sum_{k=0}^{\infty} \Phi_j^{(k)}$, где $\Phi_j^{(2k)} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nj}^{(2k)} K_n(k_j R) e^{in\theta}$ ($k = 0, 1, 2, \dots$)

назовём потенциалами волн, излучаемых полостью, а $\Phi_j^{(2k+1)} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nj}^{(2k+1)} I_n(k_j R) e^{in\theta}$ ($k = 0, 1, 2, \dots$) – потенциалами волн, отражённых границей полупространства.

С учётом этого граничные условия (21) можно представить в виде бесконечной системы уравнений блочно-диагонального типа с матрицами (3'3) вдоль главной диагонали

$$\sum_{j=1}^3 S_{rmj}^{(1)}(K_n(k_j R))a_{nj}^{(2k)} = \begin{cases} P_{nm}/\mu, & \text{при } k = 0, \\ -\sum_{j=1}^3 S_{rmj}^{(2)}(I_n(k_j R))a_{nj}^{(2k-1)}, & \text{при } k \neq 0, \end{cases} \quad (22)$$

$m = r, \theta, \eta, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Коэффициенты $a_{nj}^{(2k-1)}$ определяются соотношением $a_{nj}^{(2k-1)} = \sum_{l=1}^3 \sum_{m=-\infty}^{\infty} a_{ml}^{2(k-1)} A_{nj}^{ml}$.

Окончательно, получим: $a_{nj} = a_{nj}^{(0)} + a_{nj}^{(2)} + a_{nj}^{(4)} + \dots$

Проведенные в [1] исследования определителя системы уравнений (22) показали, что при дорэлеевских скоростях движения нагрузки ($c < c_R$) он не обращается в ноль для любых $\xi \neq 0$ (в этом случае система (22) имеет единственное решение). Корни определителя появляются лишь при $c \geq c_R$ (в этом случае происходят резонансные явления).

В случае произвольной периодической по h нагрузки, разлагая ее в ряд Фурье, для каждой составляющей ряда получим вышерассмотренную задачу.

ВЫВОДЫ

Поскольку рассматриваемая задача является модельной для тоннеля мелкого заложения, то из вышеизложенного следует, что во избежание обрушения его кровли, а также воздействия поверхностных Рэлеевских волн на наземные строительные сооружения и возможности возникновения в последних резонансных

колебаний, скоростной режим транспортируемых по тоннелю объектов должен быть ниже Рэлеевской скорости c_R .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Ержанов, Ж. С., Айталиев, Ш. М., Алексеева, Л. А.** Динамика тоннелей и подземных трубопроводов. – Алма-Ата : Наука, 1989. – 240 с.
- 2 **Ukrainets, V. N.** Earth surface response to a load moving in a tunnel. // Mechanics of Solids. (Allerton Press, Inc., New York). – 2009. – V. 44. – № 2. – P. 251–256.
- 3 **İrfan Coşkun and Demirhan Dolmaseven.** Dynamic Response of a Circular Tunnel in an Elastic Half Space, Journal of Engineering, vol. 2017, Article ID 6145375, 12 pages, 2017. [Электронный ресурс]. – <https://doi.org/10.1155/2017/6145375>.
- 4 **Cao, Z., Sun, S., Yuan, Z., Cai, Y.** Analytical Study on the Effect of Moving Surface Load on Underground Tunnel. In: Wu W., Yu HS. (eds) Proceedings of China-Europe Conference on Geotechnical Engineering. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. Springer, Cham. 2018.
- 5 **Dwivedia, J. P., Singha, V. P. Radha Krishna Lalb, Sakshi Devia.** Dynamic Response of Lined Circular Tunnel in Linear Viscoelastic Medium Due to Moving Ring load. - Materials Today: Proceedings Volume 4, Issue 2, Part A, 2017, Pages 3767-3775.
- 6 **Shunhua Zhou.** Dynamics of Rail Transit Tunnel Systems. – Academic Press, 2019. – 276 p.
- 7 **Новацкий, В.** Теория упругости. – М. : Мир, 1975. – 872 с.
- 8 **Гузь, Л. И., Кубенко, В. Д., Черевко, М. А.** Дифракция упругих волн. – Киев : Наукова думка, 1978. – 308 с.
- 9 **Тимошенко, С. П., Гудьер, Дж.** Теория упругости. – М. : Наука, 1979. – 560 с.
- 10 **Иванов, Е. А.** Дифракция электромагнитных волн на двух телах. – Минск : Наука и техника, 1968. – 584 с.

REFERENCES

- 1 **Erzhanov, Zh. S., Ajtaliev, Sh. M., Alekseeva, L. A.** Dinamika tonnelej i podzemny`x truboprovodov. [Yerzhanov Zh. S., Aitaliev Sh. M., Alekseeva L. A. Dynamics of tunnels and underground pipelines] – Alma-Ata : Nauka, 1989. – 240 p.
- 2 **Ukrainets, V. N.** Earth surface response to a load moving in a tunnel.[Ukrainets V.N. earth surface response to a load moving in a tunnel.] // Mechanics of Solids. (Allerton Press, Inc., New York). – 2009. – V. 44. – № 2. – P. 251–256.
- 3 **İrfan Coşkun and Demirhan Dolmaseven.** Dynamic Response of a Circular Tunnel in an Elastic Half Space [İrfan Coşkun and Demirhan Dolmaseven. Dynamic Response of a Circular Tunnel in an Elastic Half Space], Journal of Engineering, vol. 2017, Article ID 6145375, 12 pages, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/6145375>.
- 4 **Cao, Z., Sun, S., Yuan, Z., Cai, Y.** Analytical Study on the Effect of Moving Surface Load on Underground Tunnel. [Cao Z., Sun S., Yuan Z., Cai Y. Analytical Study

on the Effect of Moving Surface Load on Underground Tunnel.] In: Wu W., Yu HS. (eds) Proceedings of China-Europe Conference on Geotechnical Engineering. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. Springer, Cham. 2018.

5 **Dwivedia, J. P., Singha, V. P.** Radha Krishna Lalb, Sakshi Devia. Dynamic Response of Lined Circular Tunnel in Linear Viscoelastic Medium Due to Moving Ring load. [J.P. Dwivedia, V.P. Singha, Radha Krishna Lalb, Sakshi Devia. Dynamic Response of Lined Circular Tunnel in Linear Viscoelastic Medium Due to Moving Ring load.] – Materials Today: Proceedings Volume 4, Issue 2, Part A, 2017. – P. 3767-3775.

6 Shunhua Zhou. Dynamics of Rail Transit Tunnel Systems. [Shunhua Zhou. Dynamics of Rail Transit Tunnel Systems.] – Academic Press, 2019. – 276 p.

7 **Novaczki, V.** Teoriya uprugosti. [Novatsky V. Theory of elasticity.] – M. : Mir, 1975. – 872 p.

8 Guz` L.I., Kubenko V.D., Cherevko M.A. Difrakciya uprugix voln. [L. I. GUZ`, V. D. Kubenko, M. A. Cherevko, Diffraction of elastic waves.] – Kiev : Naukova dumka, 1978. – 308 p.

9 **Timoshenko, S. P., Gud`er, Dzh.** Teoriya uprugosti. [Timoshenko S. P., Goodyear J. Theory of elasticity.] – M. : Nauka, 1979. – 560 p.

10 **Ivanov, E. A.** Difrakciya e`lektromagnitny`x voln na dvux telax [Ivanov E. A. Diffraction of electromagnetic waves on two bodies.] – Minsk : Nauka i tehnika, 1968. – 584 p.

Материал постуил в редакцию 21.12.20.

М. И. Котова¹, В. Н. Украинаец², Е. М. Ыбыраева³

¹Математика және математикалық модельдеу институты,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.;

^{2,3}Торайғыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал 21.12.20 баспаға түсті.

СЕРПІМДІ ЖАРТЫЛАЙ КЕҢІСТІКТІҢ ҚУЫСТЫҢ БЕТІ БОЙЫМЕН ҚОЗҒАЛАТЫН МЕРЗІМДІ ЖҮКТЕМЕГЕ РЕАКЦИЯСЫ

Әр түрлі дыбысқа дейінгі жылдамдықтары бар дөңгелек цилиндрлік қуыстың бетінде біркелкі қозғалатын мерзімді жүктеменің серпімді жартылай кеңістігіне әсер ету туралы кішігірім туннель үшін модельдік есеп зерттеледі. Жартылай кеңістіктің қозғалысы жылжымалы координаталар жүйесіндегі серпімділік теориясының динамикалық теңдеулерімен сипатталады, оларды шешу үшін айнымалыларды толық емес бөлу әдісі ұсынылады. Туннельдің шатырының құлауын, сондай-ақ беткі қабаттың әсерін болдырмау көрсетілген. Жердегі құрылыс ғимараттарына Рэлеев толқындарының жылдамдығы және соңғы резонанстық тербелістердің пайда болу мүмкіндігі, туннель арқылы тасымалданатын объектілердің жылдамдық режимі Рэлеев жылдамдығынан төмен болуы керек.

Кілтті сөздер: Серпімді жартылай кеңістік, серпімді жартылай кеңістік реакциясы, цилиндрлік қуыс, мерзімді жүктеме, кернеулі-деформацияланған күй, Рейле толқындары, таяз туннель, модельдік тапсырма.

М. И. Котова¹, В. Н. Украинets², Ye. M. Ibrayeva³

¹Institute of Mathematics and Mathematical Modeling,

Republic of Kazakhstan, Almaty;

^{2,3}Toraighyrov University,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

ELASTIC SEMISPACE REACTION ON PERIODIC LOAD MOVING OVER INNER SURFACE OF CAVITY

The study in question is the model problem for shallow tunnels that investigates the influence on elastic half-space of periodic load moving uniformly along the surface of a circular cylindrical cavity with various subsonic velocities. The motion of the half space is described in the form of dynamic equations of the theory of elasticity in the moving coordinate system. To solve the equations we used the method of incomplete variables separation. It is shown that in order to avoid the collapse of the tunnel roof, the influence of surface Rayleigh waves on ground building structures and eventual formation in them of resonance oscillations, the speed rate for objects transported along the tunnel should be below the Rayleigh velocity.

Keywords: Elastic half-space, elastic half-space reaction, cylindrical cavity, periodic load, stress-strain state, Rayleigh waves, shallow tunnel, model problem.

СВЕДЕНИЯ О АВТОРАХ

Әбишев Қайратолла Қайроллаұлы, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Көліктік техника және логистика» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: asylbek_kasenov@mail.ru

Амеркулов Акрам Тлеужанович, магистрант, «Машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: akram0696@mail.ru

Болсуновская Людмила Михайловна, филология ғылымдарының кандидаты, доцент, Томбы политехникалық университеті, Базалық инженерлік дайындық мектебінің шет тілдер бөлімшесі, Томбы қ., 634000, Қазақстан Республикасы, e-mail: bolsunovskl@tpu.ru

Боранбаев Ерден Еркінұлы, бас менеджер, «КАР Technology» ЖШС Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: erden_ts@mail.ru

Боранбаева Бағдат Мекетайқызы, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, машина жасау факультеті, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: bagdat43@mail.ru

Боранбаева Бағлан Қайыргелдіқызы, «KLPE» ЖШС сатып алу қызметінің бас

Абишев Қайратолла Қайроллинович, кандидат технических наук, профессор, кафедра «Транспортная техника и логистика», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: a.kairatolla@mail.ru

Амеркулов Акрам Тлеужанович, магистрант, кафедра «Машиностроение и стандартизация», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: akram0696@mail.ru

Болсуновская Людмила Михайловна, кандидат филологических наук, доцент, Отделение иностранных языков Школы базовой инженерной подготовки, Томский политехнический университет, г. Томск, 634000, Республика Казахстан, e-mail: bolsunovskl@tpu.ru

Боранбаев Ерден Еркинвич, главный менеджер, ТОО «КАР Technology» г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: erden_ts@mail.ru

Боранбаева Бағдат Мекетаевна, Машиностроительный факультет, Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: bagdat43@mail.ru

Боранбаева Бағлан Каиргельдиновна, главный специалист службы закупок,

Abishev Kairatolla Kairollinovich, Candidate of technical Sciences, professor, Department of «Transport engineering and logistics», Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: a.kairatolla@mail.ru

Amirkulov Akram Tleuzhanovich, undergraduate student, Department «Engineering and standardization», Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: akram0696@mail.ru

Bolsunovskaya Lyudmila Mikhailovna, Candidate of Philological Sciences, associate professor, Department of Foreign Languages of the School of Basic Engineering, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 634000, Republic of Kazakhstan, e-mail: bolsunovskl@tpu.ru

Boranbaev Yerden Yerkinovich, chief manager, KAP Technology LLP, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: erden_ts@mail.ru

Boranbaeva Bagdat Meketaevna, Engineering Faculty, Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: bagdat43@mail.ru

Boranbayeva Baglan Kairgeldinova, KLPE LLP, chief specialist of procurement

маманы, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: baglan-k@list.ru

Буртыль Юрий Валерьевич, ағы оқытушы, Белорусь ұлттық техникалық университеті, Минск қ., 220013, Белорусь Республикасы, e-mail: burtyl76@mail.ru

Быков Петр Олегович, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Металлургия» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: bykov_petr@mail.ru

Васильева Ксения Владимировна, магистр, Жаратылыстану ғылымдары факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: 23.ksyusha.12@gmail.com

Гребенкин Владислав Викторович, магистрант, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: grebenkinv0227@gmail.com

Деревягин Сергей Иванович, қауымд. профессор (доцент), «Машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: ser_der56@mail.ru

Дюсова Ризагуль Муслимовна, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ.,

ТОО «KLPE», г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: baglan-k@list.ru

Буртыль Юрий Валерьевич, ст. преподаватель, Белорусский национальный технический университет, г. Минск, 220013, Республика Беларусь, e-mail: burtyl76@mail.ru

Быков Петр Олегович, кандидат технических наук, профессор, кафедра «Металлургия», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: bykov_petr@mail.ru

Васильева Ксения Владимировна, магистр, Факультет естественных наук, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: 23.ksyusha.12@gmail.com

Гребенкин Владислав Викторович, магистрант, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: grebenkinv0227@gmail.com

Деревягин Сергей Иванович, асоц. профессор (доцент), кафедра «Машиностроения и стандартизации», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: ser_der56@mail.ru

Дюсова Ризагуль Муслимовна, магистр технических наук, ст. преподаватель, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008,

service, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: baglan-k@list.ru

Burtyl Yuri Valerevich, senior lecturer, Belarusian National Technical University, Minsk, 220013, Republic of Belarus, e-mail: burtyl76@mail.ru

Bykov Petr Olegovich, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Metallurgy, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: bykov_petr@mail.ru

Vassilyeva Xeniya Vladimirovna, undergraduate student, Faculty of Natural Science, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: 23.ksyusha.12@gmail.com

Grebenkin Vladislav Viktorovich, undergraduate student, Faculty of Engineering, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: grebenkinv0227@gmail.com

Derevyagin Sergey Ivanovich, associated professor (docent), academic chair of Mechanical Engineering and Standardization, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: ser_der56@mail.ru

Duyssova Rizagul Muslimovna, Master of Technical Sciences, senior lecturer, Faculty of engineering, Toraigyrov University, Pavlodar, 140008,

140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: riza92@bk.ru

Жакенов Мадикаирбулатович, инженер-энергетик, «KSP Steel» ЖШС, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: madi.kzh@mail.ru

Загозин Игорь Валерьевич, магистрант, «Машина жасау және стандарттау» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: igorzagozin4@gmail.com

Ыбраева Елена Муратқызы, педагогика ғылымдарының кандидаты, қауымд. профессор, «Сәулет және дизайн» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140002, Қазақстан Республикасы, e-mail: yel_ana@mail.ru

Қабылқайыр Дәурен Нурланович, техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, Инженерия факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: kabylkairov91@mail.ru

Касенов Асылбек Жумабекович, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Машинажасау және стандарттау» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы 140008, e-mail: asylbek_kasenov@mail.ru

Республика Казахстан, e-mail: riza92@bk.ru

Жакенов Мадикаирбулатович, инженер-энергетик, ПФ ТОО «KSP Steel», г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: madi.kzh@mail.ru

Загозин Игорь Валерьевич, магистрант, кафедра «Машиностроения и стандартизации», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: igorzagozin4@gmail.com

Ибраева Елена Муратовна, кандидат педагогических наук, ассоц. профессор, кафедра «Архитектура и дизайн», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140002, Республика Казахстан, e-mail: yel_ana@mail.ru

Қабылқайыр Дәурен Нурланович, магистр технических наук, ст. преподаватель, Факультет инженерии, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: kabylkairov91@mail.ru

Касенов Асылбек Жумабекович, к.т.н., профессор, кафедра «Машиностроение и стандартизация», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: asylbek_kasenov@mail.ru

Republic of Kazakhstan, e-mail: riza92@bk.ru

Zhakenov Madi Kairbulatovich, power engineer, KSP Steel LLP, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: madi.kzh@mail.ru

Zagozin Igor Valeryevich, undergraduate student, academic chair of Mechanical Engineering and Standardization, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: zagozinigor4@gmail.com

Ibrayeva Yelena Muratovna, Candidate of Pedagogical Sciences, associate professor, Department of «Architecture and Design», Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: yel_ana@mail.ru

Kabylkaiyr Dauren Nurlanovich, Master of Technical Sciences, senior lecturer, Faculty of Engineering, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: kabylkairov91@mail.ru

Kasenov Asylbek Zhumabekovich, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of «Mechanical Engineering and Standardization», Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: asylbek_kasenov@mail.ru

Котова Мария Иннокентьевна, техника ғылымдарының докторы, профессор, Математика және математикалық модельдеу институты, Алматы қ., 050032, Қазақстан Республикасы, e-mail: mail.enu@mail.ru

Майшина Жанат Галамиқызы, PhD доктор, Машина жасау факультеті, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: zhan.ym.ka@mail.ru

Масакбаева Софья Руслановна, химия ғылымдарының кандидаты, профессор, Жаратылыстану ғылымдары факультеті, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: sofochka184@mail.ru

Муканов Руслан Батырбекович, аға оқытушы, «Көліктік техника және логистика» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: ruslangr82@mail.ru

Мусаева Гүлмира Серікқызы, техника ғылымдарының докторы, профессор, Көліктік техника және құрылыс факультеті, М. Тынышбаев атындағы Қазақ көлік және коммуникациялар академиясы, Алматы қ., 050052, Қазақстан Республикасы, e-mail: gulmira0205@bk.ru

Мызовская Татьяна Ивановна, магистр, Жаратылыстану ғылымдары факультеті, Торайғыров университеті,

Котова Мария Иннокентьевна, доктор технических наук, профессор, Институт математики и математического моделирования, г. Алматы, 050032, Республика Казахстан, e-mail: mail.enu@mail.ru

Майшина Жанат Галамиқызы, Машиностроительный факультет, Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: zhan.ym.ka@mail.ru

Масакбаева Софья Руслановна, кандидат химических наук, профессор, Факультет естественных наук, Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: sofochka184@mail.ru

Муканов Руслан Батырбекович, ст. преподаватель, кафедра «Транспортная техника и логистика», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: ruslangr82@mail.ru

Мусаева Гүлмира Сериковна, доктор технических наук, профессор, Факультет Транспортная техника и строительство, Казахская академия транспорта и коммуникаций имени М. Тынышпаева, г. Алматы, 050052, Республика Казахстан, e-mail: gulmira0205@bk.ru

Мызовская Татьяна Ивановна, магистр, Факультет естественных наук, Торайғыров университет, г. Павлодар,

Kotova Maria Innokentyevna, Doctor of Technical Sciences, professor, Institute of Mathematics and Mathematical Modeling, Almaty, 050032, Republic of Kazakhstan, e-mail: mail.enu@mail.ru

Maishina Janat Galaminkyzy, Engineering Faculty, Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: zhan.ym.ka@mail.ru

Massakbayeva Sofya Ruslanovna, Candidate of Chemical Sciences, professor, Faculty of Natural Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: sofochka184@mail.ru

Mukanov Ruslan Baturbekovich, senior lecturer, Department of Transport Engineering and Logistics, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: ruslangr82@mail.ru

Musayeva Gulmira Serikovna, Doctor of Technical Sciences, the professor, Faculty of Transport Engineering and Construction, Kazakh Academy of Transport and Communications named after M. Tynyshpayev, Almaty, 050052, Republic of Kazakhstan, e-mail: gulmira0205@bk.ru

Myzovskaya Tatyana Ivanovna, undergraduate student, Faculty of Natural Science, Toraighyrov University, Pavlodar, 140008,

Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: tanechka020996@gmail.com

140008, Республика Казахстан, e-mail: tanechka020996@gmail.com

Republic of Kazakhstan, e-mail: tanechka020996@gmail.com

Мырзагулова Айгерім Тасибекқызы, магистр, Машина жасау факультеті, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: m.aikerim@mail.ru

Мырзагулова Айгерім Тасибековна, магистр, Машиностроительный факультет, Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: m.aikerim@mail.ru

Myrzagulova Aigerim Tasibekovna, Engineering Faculty, Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: m.aikerim@mail.ru

Омаров Амангелді Жұмағалиұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ректор, Қазақ қатынас жолдары университеті, Алматы қаласы, 050036, Қазақстан Республикасы

Омаров Амангельды Джумағалиевич, доктор технических наук, профессор, ректор, Казахский университет путей сообщения, г. Алматы, 050036, Республика Казахстан

Omarov Amangeldy Dzhumagalievich, Doctor of Technical Sciences, professor, Rector, Kazakh University Ways of Communications, Almaty, 050036, Republic of Kazakhstan

Саржанов Тайжан Садыханұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, директор, Жоғары оқу орнынан кейінгі білім беру департаменті, Қазақ қатынас жолдары университеті, Алматы қаласы, 050036, Қазақстан Республикасы

Саржанов Тайжан Садыханович, доктор технических наук, профессор, директор, Департамент послевузовского образования, Казахский университет путей сообщения, г. Алматы, 050036, Республика Казахстан, e-mail: taizhan.s@mail.ru

Sarzhanov Taizhan Sadykhanovich, Doctor of Technical Sciences, professor, Director of the Department of Postgraduate Education, Kazakh University Ways of Communications, Almaty, 050036, Republic of Kazakhstan, e-mail: taizhan.s@mail.ru

Сейтенова Гайни Жумағалиевна, химия ғылымдарының кандидаты, ПМУ доценті, кафедра меңгерушісі, «Механика және мұнай-газ ісі» кафедрасы, Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, 140008, Павлодар қ., e-mail: gaini-chemistry@mail.ru

Сейтенова Гайни Жумағалиевна, кандидат химических наук, доцент ПГУ, заведующая кафедрой «Механика и нефтегазовое дело», Торайғыров университет, Республика Казахстан, 140008, г. Павлодар, e-mail: gaini-chemistry@mail.ru

Seitenova Gaini Zhumagalievna, Candidate of Chemical Sciences, professor, Department of Mechanics and Oil and Gas Business, Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, 140008, Pavlodar, e-mail: gaini-chemistry@mail.ru

Смайлов Бауржан Шай-Ахметұлы, вице-президент, «Қазақстан электролиз зауыты» АҚ, Қазақстан Республикасы, 140013, Павлодар қ., e-mail: baurbsbsh@gmail.com

Смайлов Бауржан Шай-Ахметович, вице-президент, АО «Казахстанский электролизный завод», Республика Казахстан, 140013, г. Павлодар, e-mail: baurbsbsh@gmail.com

Smaylov Baurzhan Shay-Akhetovich, Vice-President, Kazakhstan Aluminium Smelter JSC, Republic of Kazakhstan, 140013, Pavlodar, e-mail: baurbsbsh@gmail.com

Солтанова Алия Муслимовна, оқытушы, Инновациялық

Солтанова Алия Муслимовна, преподаватель,

Soltanova Aliya Muslimovna, lecturer, Innovative Eurasian

Еуразия университеті, Павлодар қ., 140000, Қазақстан Республикасы, e-mail: soltanova.aliya@bk.ru

Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар, 140000, Республика Казахстан, e-mail: soltanova.aliya@bk.ru

University, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan, e-mail: soltanova.aliya@bk.ru

Тажиев Шамиль Хаджимуратулы, магистр, Машина жасау факультеті, Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ., 100027, Қазақстан Республикасы, e-mail: tazhiev-shamil@mail.ru

Тажиев Шамиль Хаджимуратович, магистр, Машиностроительный факультет, Карагандинский технический университет, г. Караганда, 100027, Республика Казахстан, e-mail: tazhiev-shamil@mail.ru

Tajiev Shamil Khadjimuratovich, Engineering Faculty, Karaganda Technical University, Karaganda, 100027, Republic of Kazakhstan, e-mail: tazhiev-shamil@mail.ru

Украинец Виталий Николаевич, техникалық ғылым докторы, профессор, «Сәулет және дизайн» кафедрасы, Торайғыров университеті, Павлодар қ., 140008, Қазақстан Республикасы, e-mail: vitnikukr@mail.ru

Украинец Виталий Николаевич, Доктор технических наук, профессор, кафедра «Архитектура и дизайн», Торайғыров университет, г. Павлодар, 140008, Республика Казахстан, e-mail: vitnikukr@mail.ru

Ukrainets Vitaliy Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, professor, Department of «Architecture and Design», Toraighyrov University, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, e-mail: vitnikukr@mail.ru

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА
«НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА»**

Редакционная коллегия просит авторов руководствоваться следующими правилами при подготовке статей для опубликования в журнале.

Научные статьи, представляемые в редакцию журнала должны быть оформлены согласно базовым издательским стандартам по оформлению статей в соответствии с ГОСТ 7.5-98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», пристатейных библиографических списков в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

***В номер допускается не более одной рукописи от одного автора либо того же автора в составе коллектива соавторов.**

***Количество соавторов одной статьи не более 5.**

***Степень оригинальности статьи должна составлять не менее 60 %.**

***Направляемые статьи не должны быть ранее опубликованы, не допускается последующее опубликование в других журналах, в том числе переводы на другие языки.**

***Решение о принятии рукописи к опубликованию принимается после проведения процедуры рецензирования.**

***Рецензирование проводится конфиденциально («двустороннее слепое рецензирование»), автору не сообщается имя рецензента, а рецензенту – имя автора статьи.**

***Статьи отправлять вместе с квитанцией об оплате. Стоимость публикации в журнале за страницу 1000 (одна тысяча) тенге, включая статьи магистрантов и докторантов в соавторстве с лицами с ученой степенью.**

*** Оплата за статью не возвращается в случае, если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирования 1 раз.**

Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:

– В журналы принимаются статьи по всем научным направлениям, набранные на компьютере, напечатанные на одной стороне листа с полями 30 мм со всех сторон листа, электронный носитель со всеми материалами в текстовом редакторе «Microsoft Office Word (97, 2000, 2007, 2010) для WINDOWS».

– Общий объем статьи, включая аннотации, литературу, таблицы, рисунки и математические формулы не должен превышать **12 страниц печатного текста**. *Текст статьи: кегль – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка).*

Структура научной статьи включает название, аннотации, ключевые слова, основные положения, введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, выводы, информацию о финансировании (при наличии), список литературы (используемых источников) к каждой статье, включая романизированный (транслитерированный латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. *ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом.*

Статья должна содержать:

1 **МРНТИ** (Межгосударственный рубрикатор научной технической информации);

2 **DOI** – после МРНТИ в верхнем правом углу (присваивается и заполняется редакцией журнала);

3 **Фамилия, имя, отчество** (полностью) автора (-ов) – на казахском, русском и английском языках (*жирным шрифтом, по центру*);

4 **Ученая степень, ученое звание;**

5 **Аффилиация** (факультет или иное структурное подразделение, организация (место работы (учебы)), город, почтовый индекс, страна) – на казахском, русском и английском языках;

6 **E-mail;**

7 **Название статьи** должно отражать содержание статьи, тематику и результаты проведенного научного исследования. В название статьи необходимо вложить информативность, привлекательность и уникальность (*не более 12 слов, прописными буквами, жирным шрифтом, по центру, на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий*);

8 **Аннотация** – краткая характеристика назначения, содержания, вида, формы и других особенностей статьи. Должна отражать основные и ценные, по мнению автора, этапы, объекты, их признаки и выводы проведенного исследования. Дается на казахском, русском и английском либо немецком языках (*рекомендуемый объем аннотации – не менее 150, не более 300 слов, курсив, нежирным шрифтом, кегль – 12 пунктов, абзацный отступ слева и справа 1 см, см. образец*);

9 **Ключевые слова** – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования (*оформляются на трех языках: русский, казахский, английский либо немецкий; кегль – 12 пунктов, курсив, отступ слева-справа – 1 см.*). Рекомендуемое количество ключевых слов – 5-8, количество слов внутри ключевой фразы – не более 3. Задаются в порядке их значимости, т.е. самое важное ключевое слово статьи должно быть первым в списке (*см. образец*);

10 **Основной текст статьи** излагается в определенной последовательности его частей, включает в себя:

- **Введение / Кіріспе / Introduction** (*абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов*). Обоснование выбора темы; актуальность темы или проблемы. Актуальность темы определяется общим интересом к изученности данного объекта, но отсутствием исчерпывающих ответов на имеющиеся вопросы, она доказывается теоретической или практической значимостью темы.

- **Материалы и методы** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Должны состоять из описания материалов и хода работы, а также полного описания использованных методов.

- **Результаты и обсуждение** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов). Приводится анализ и обсуждение полученных вами результатов исследования. Приводятся выводы по полученным в ходе исследования результатам, раскрывается основная суть. И это один из самых важных разделов статьи. В нем необходимо провести анализ результатов своей работы и обсуждение соответствующих результатов в сравнении с предыдущими работами, анализами и выводами.

- **Информацию о финансировании** (при наличии) (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов).

- **Выводы / Қорытынды / Conclusion** (абзац 1 см по левому краю, жирными буквами, кегль – 14 пунктов).

Выводы – обобщение и подведение итогов работы на данном этапе; подтверждение истинности выдвигаемого утверждения, высказанного автором, и заключение автора об изменении научного знания с учетом полученных результатов. Выводы не должны быть абстрактными, они должны быть использованы для обобщения результатов исследования в той или иной научной области, с описанием предложений или возможностей дальнейшей работы.

- **Список использованных источников / Пайдаланған деректер тізімі / References** (жирными буквами, кегль – 14 пунктов, в центре) включает в себя:

Статья и список использованных источников должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.5-98; ГОСТ 7.1-2003 (см. образец).

Очередность источников определяется следующим образом: сначала последовательные ссылки, т.е. источники на которые вы ссылаетесь по очередности в самой статье. Затем дополнительные источники, на которых нет ссылок, т.е. источники, которые не имели место в статье, но рекомендованы вами читателям для ознакомления, как смежные работы, проводимые параллельно. Объем не менее 10 не более чем 20 наименований (ссылки и примечания в статье обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). В случае наличия в списке использованных источников работ, представленных на кириллице, необходимо представить список литературы в двух вариантах: первый – в оригинале, второй – романизированный (транслитерация латинским алфавитом) вариант написания источников на кириллице (на казахском и русском языках) см. ГОСТ 7.79–2000 (ИСО 9–95) *Правила транслитерации кирилловского письма латинским алфавитом*.

Романизированный список литературы должен выглядеть следующим образом: автор(-ы) (транслитерация) → название статьи в транслитерированном варианте → [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках] → название казахоязычного либо русскоязычного источника (транслитерация, либо английское название – если есть) → выходные данные с обозначениями на английском языке.

11 **Иллюстрации, перечень рисунков** и подрисуночные надписи к ним представляют по тексту статьи. В электронной версии рисунки и иллюстрации представляются в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi.

12 **Математические формулы** должны быть набраны в Microsoft Equation Editor (каждая формула – один объект).

На отдельной странице (после статьи)

В электронном варианте приводятся полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, e-mail (номер телефона для связи редакции с авторами, не публикуются):

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Фамилия Имя Отчество (полностью)		
Должность, ученая степень, звание		
Организация		
Город		
Индекс		
Страна		
E-mail		
Телефон		

Для статей, публикуемых в Научном журнале Торайгыров университет. Химико-биологическая серия, требуется экспертное заключение.

Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи.

Если статья отклонена антиплагиатом или рецензентом статья возвращается автору на доработку. Автор может повторно отправить статью на антиплагиат или рецензирование 1 раз. За содержание статьи несет ответственность Автор.

Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.

Датой поступления статьи считается дата получения редакцией ее окончательного варианта.

Статьи публикуются по мере поступления.

Периодичность издания журналов – четыре раза в год (ежеквартально)

Сроки подачи статьи:

- первый квартал до 10 февраля;
- второй квартал до 10 мая;
- третий квартал до 10 августа;
- четвертый квартал до 10 ноября.

Статьи отправлять вместе с квитанцией об оплате. Стоимость публикации в журнале за страницу 1000 (одна тысяча) тенге, включая статьи магистрантов и докторантов в соавторстве с лицами с ученой степенью.

Статью (электронную версию, и квитанции об оплате) следует направлять на сайт: vestnik.tou.edu.kz. Для подачи статьи на публикацию необходимо пройти регистрацию на сайте.

140008, Республика Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64,

НАО «Торайгыров университет»,

Издательство «Toraighyrov University», каб. 137.

Тел. 8 (7182) 67-36-69, (внутр. 1147).

E-mail: kereku@tou.edu.kz

Наши реквизиты:

НАО «Торайгыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	НАО «Торайгыров университет» РНН 451800030073 БИН 990140004654	Приложение kaspi.kz Платежи – Образование – Оплата за ВУЗы – Заполняете все графы (в графе Факультет укажите «За публикацию в научном журнале, название журнала и серии»)
АО «Jýsan Bank» ИИК KZ57998FTB00 00003310 БИК TSESKZK A Кбе 16 Код 16 КНП 861	АО «Народный Банк Казахстана» ИИК KZ156010241000003308 БИК HSBKZKX Кбе 16 Код 16 КНП 861	

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

МРНТИ 14.37.27

DOI xxxxxxxxxxxxxxxxx

С. К. Антикеева

Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ СОЦИАЛЬНЫХ РАБОТНИКОВ ЧЕРЕЗ КУРСЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

В данной статье представлена теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, которая разработана в рамках докторской диссертации «Формирование личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации». В статье приводятся педагогические аспекты самого процесса моделирования, перечислены этапы педагогического моделирования. Представлены методологический, процессуальный (технологический) и инструментальный уровни модели, ее цель, мониторинг сформированности искомых компетенций, а также результат. В модели показаны компетентностный, личностно-ориентированный и практико-ориентированный педагогические подходы, закономерности, принципы, условия формирования выбранных компетенций; описаны этапы реализации процесса формирования, уровни сформированности личностных и профессиональных компетенций. В разделе практической подготовки предлагается интерактивная работа в системе слушатель-преподаватель-группа, подразумевающая личное участие каждого специалиста, а также открытие первого в нашей стране Республиканского общественного объединения «Национальный альянс профессиональных социальных работников». Данная модель подразумевает под собой дальнейшее совершенствование и самостоятельное развитие личностных и профессиональных компетенций социальных работников. Это позволяет увидеть в модели эффективность реализации курсов повышения квалификации, формы, методы и средства работы.

Ключевые слова: теоретическая модель, компетенции, повышение квалификации, социальные работники.

Введение

Социальная работа – относительно новая для нашей страны профессия. Поэтому обучение социальных работников на современной стадии не характеризуется наличием достаточно разработанных образовательных стандартов, которые находили бы выражение в формулировке педагогических целей, в содержании, технологиях учебного процесса.

Продолжение текста публикуемого материала

Материалы и методы

Теоретический анализ научной психолого-педагогической и специальной литературы по проблеме исследования; анализ законодательных и нормативных документов по открытию общественных объединений; анализ содержания программ курсов повышения квалификации социальных работников; моделирование; анализ и обобщение педагогического опыта; опросные методы (беседа, анкетирование, интервьюирование); наблюдение; анализ продуктов деятельности специалистов; эксперимент, методы математической статистики по обработке экспериментальных данных.

Продолжение текста публикуемого материала

Результаты и обсуждение

Чтобы понять объективные закономерности, лежащие в основе процесса формирования и развития личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации, необходимо четко представлять себе их модель.

Продолжение текста публикуемого материала

Выводы

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что теоретическая модель формирования личностных и профессиональных компетенций социальных работников через курсы повышения квалификации содержит три уровня ее реализации.

Продолжение текста публикуемого материала

Список использованных источников

- 1 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : сущность, эффективность и неопределенность [Текст] // Педагогика. – 2003. – № 4. – С. 22.
- 2 **Кузнецова, А. Г.** Развитие методологии системного подхода в отечественной педагогике : монография [Текст]. – Хабаровск : Изд-во ХК ИППК ПК, 2001. – 152 с.
- 2 **Каропа, Г. Н.** Системный подход к экологическому образованию и воспитанию (На материале сельских школ) [Текст]. – Минск, 1994. – 212 с.
- 4 **Штофф, В. А.** Роль моделей в познании [Текст] – Л. : ЛГУ, 1963. – 128 с.
- 5 **Таубаева, Ш.** Методология и методика дидактического исследования : учебное пособие [Текст]. – Алматы : Казак университеті, 2015. – 246 с.
- 6 **Дахин, А. Н.** Моделирование компетентности участников открытого образования [Текст]. – М. : НИИ школьных технологий 2009. – 290 с.
- 7 **Дахин, А. Н.** Моделирование в педагогике [Текст] // Идеи и идеалы. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – С. 11–20.
- 8 **Дахин, А. Н.** Педагогическое моделирование : монография [Текст]. – Новосибирск : Изд-во НИПКиПРО, 2005. – 230 с.
- 9 **Аубакирова, С. Д.** Формирование деонтологической готовности будущих педагогов к работе в условиях инклюзивного образования : дисс. на соиск. степ. д-ра филос. (PhD) по 6D010300 – Педагогика и психология [Текст] – Павлодар, 2017. – 162 с.

10 **Арын, Е. М., Пфейфер, Н. Э., Бурдина, Е. И.** Теоретические аспекты профессиональной подготовки педагога XXI века : учеб. пособие [Текст]. – Павлодар : ПГУ им. С. Торайгырова; СПб. : ГАФКиС им. П. Ф. Лесгафта, 2005. – 270 с.

References

- 1 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : suschnost, effektivnost i neopredelennost [Pedagogical modeling : essence, effectiveness, and uncertainty] [Text]. In Pedagogy. – 2003. – № 4. – P. 22.
- 2 **Kuznetsova, A. G.** Razvitie metodologii sistemnogo podhoda v otechestvennoi pedagogike [Development of the system approach methodology in Russian pedagogy : monograph] [Text]. – Khabarovsk : Izd-vo KhK IPPK PK, 2001. – 152 p.
- 3 **Karopa, G. N.** Sistemnyi podhod k ekologicheskomu obrazovaniyu i vospitaniiu (Na materiale selskih shkol) [The systematic approach to environmental education and upbringing (Based on the material of rural schools)] [Text] – Minsk, 1994. – 212 p.
- 4 **Shtoff, V. A.** Rol modelei v poznanii [The role of models in cognition] [Text] – L. : LGU, 1963. – 128 p.
- 5 **Taubayeva, Sh.** Metodologiya i metodika didakticheskogo issledovaniya : uchebnoe posobie [Methodology and methods of educational research : a tutorial] [Text] – Almaty : Kazak University, 2015. – 246 p.
- 6 **Dahin, A. N.** Modelirovanie kompetentnosti uchastnikov otkrytogo obrazovaniya [Modeling the competence of open education participants] [Text] – Moscow : NII shkolnyh tehnologii, 2009. – 290 p.
- 7 **Dahin, A. N.** Modelirovanie v pedagogike [Modeling in pedagogy] [Text]. In Idei i idealy. – 2010. – № 1(3). – Т. 2 – P. 11–20.
- 8 **Dahin, A. N.** Pedagogicheskoe modelirovanie : monographia [Pedagogical modeling : monograph] [Text]. – Novosibirsk : Izd-vo NIPKiPRO, 2005. – 230 p.
- 9 **Aubakirova, S. D.** Formirovaniye deontologicheskoi gotovnosti buduschih pedagogov k rabote v usloviyah inklusivnogo obrazovaniya : dissertaciya na soiskanie stepeni doctora filosofii (PhD) po specialnosti 6D010300 – Pedagogika i psihologiya. [Formation of deontological readiness of future teachers to work in inclusive education : dissertation for the degree of doctor of philosophy (PhD) in the specialty 6D010300-Pedagogy and psychology] [Text] – Pavlodar, 2017. – 162 p.
- 10 **Aryn, E. M., Pfeifer, N. E., Burdina, E. I.** Teoreticheskie aspekty professionalnoi podgotovki pedagoga XXI veka : ucheb. posobie [Theoretical aspects of professional training of a teacher of the XXI century : textbook] [Text] – Pavlodar : PGU im. S. Toraiyrov PSU; St.Petersburg. : GAFKiS im. P. F. Lesgafta, 2005. – 270 p.

С. К. Антикеева

Торайғыров университет, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

БІЛІКТІЛІКТІ АРТТЫРУ КУРСТАРЫ АРҚЫЛЫ ӘЛЕУМЕТТІК ҚЫЗМЕТКЕРЛЕРДІҢ ҚҰЗІРЕТТІЛІКТЕРІН ҚАЛЫПТАСТЫРУДЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ МОДЕЛІ

Бұл мақалада «Әлеуметтік қызметкерлердің біліктілігін арттыру курстары арқылы тұлғалық және кәсіби құзіреттіліктерін қалыптастыру» докторлық диссертация шеңберінде әзірленген біліктілікті арттыру курстары арқылы әлеуметтік қызметкерлердің тұлғалық және кәсіби құзіреттілігін қалыптастырудың теориялық моделі ұсынылған. Мақалада модельдеу процесінің педагогикалық аспектілері, педагогикалық модельдеудің кезеңдері келтірілген. Модельдің әдіснамалық, процессуалдық (технологиялық) және аспаптық деңгейлері, оның мақсаты, қажетті құзіреттердің қалыптасу мониторингі, сондай-ақ нәтижесі ұсынылған. Модельде құзіреттілікке, тұлғаға бағытталған және практикаға бағытталған педагогикалық тәсілдер, таңдалған құзіреттерді қалыптастыру заңдылықтары, қағидаттары, шарттары көрсетілген; қалыптасу процесін іске асыру кезеңдері, жеке және кәсіби құзіреттердің қалыптасу деңгейлері сипатталған. Практикалық дайындық бөлімінде тыңдаушы-оқытушы-топ жүйесінде интерактивті жұмыс ұсынылады, ол әр маманның жеке қатысуын, сондай-ақ елімізде алғашқы «кәсіби әлеуметтік қызметкерлердің ұлттық альянсы» республикалық қоғамдық бірлестігінің ашылуын білдіреді. Бұл модель әлеуметтік қызметкерлердің жеке және кәсіби құзіреттерін одан әрі жетілдіруді және тәуелсіз дамытуды білдіреді. Бұл модельде біліктілікті арттыру курстарын іске асырудың тиімділігін, жұмыс нысандары, әдістері мен құралдарын көруге мүмкіндік береді.

Кілтті сөздер: теориялық модель, құзіреттілік, біліктілікті арттыру, әлеуметтік қызметкерлер.

S. K. Antikeeva

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar

THEORETICAL MODEL OF FORMATION COMPETENCIES OF SOCIAL WORKERS THROUGH PROFESSIONAL DEVELOPMENT COURSES

This article presents a theoretical model for the formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses, which was developed in the framework of the doctoral dissertation «Formation of personal and professional competencies of social workers through advanced training courses». The article presents the pedagogical aspects of the modeling process itself, and lists the stages of pedagogical modeling. The methodological, procedural (technological) and instrumental levels of the model, its purpose, monitoring the formation of the required competencies, as well as the result are presented. The model shows competence-based, personality-oriented and practice-oriented

pedagogical approaches, patterns, principles, conditions for the formation of selected competencies; describes the stages of the formation process, the levels of formation of personal and professional competencies. The practical training section offers interactive work in the listener-teacher-group system, which implies the personal participation of each specialist, as well as the opening of the first Republican public Association in our country, the national Alliance of professional social workers. This model implies further improvement and independent development of personal and professional competencies of social workers. This allows you to see in the model the effectiveness of the implementation of advanced training courses, forms, methods and means of work.

Keywords: theoretical model, competencies, professional development, social workers.

Сведения об авторах

На казахском языке	На русском языке	На английском языке
Антикеева Самал Канатовна «Педагогика және психология» мамандығы бойынша докторант «Торайғыров университеті» КЕАҚ, Гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдар факультеті, Павлодар, 140008, Қазақстан Республикасы, samal_antikeeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Антикеева Самал Канатовна докторант по специальности «Педагогика и психология» НАО «Торайғыров университет», Факультет гуманитарных и социальных наук, Павлодар, 140008, Республика Казахстан, samal_antikeeva@mail.ru, 8-000-000-00-00	Samal Kanatovna Antikeeva doctoral student in «Pedagogy and psychology» «Toraighyrov University» NCJSC, Faculty of Humanities and Social Sciences, Pavlodar, 140008, Republic of Kazakhstan, samal_antikeeva@mail.ru, 8-000-000-00-00

**Публикационная этика научных журналов
«Вестник Торайгыров университета»,
«Краеведение», «Наука и техника Казахстана»**

Редакционная коллегия журналов «Вестник Торайгыров университет», «Краеведение» и «Наука и техника Казахстана» в своей работе придерживается международных стандартов по этике научных публикаций и учитывает информационные сайты ведущих международных журналов.

Редакционная коллегия журнала, а также лица, участвующие в издательском процессе в целях обеспечения высокого качества научных публикаций, во избежание недобросовестной практики в публикационной деятельности (использование недостоверных сведений, изготовление данных, плагиат и др.), обеспечения общественного признания научных достижений обязаны соблюдать этические нормы и стандарты, принятые международным сообществом и предпринимать все разумные меры для предотвращения таких нарушений.

Редакционная коллегия ни в коем случае не поощряет неправомерное поведение (плагиат, манипуляция, фальсификация) и приложит все силы для предотвращения наступления подобных случаев. В случае, если редакционной коллегии станет известно о любых неправомерных действиях в отношении опубликованной статьи в журнале или в случае отрицательного результата экспертизы редколлегий статья отклоняется от публикации.

Редакционная коллегия не должна раскрывать информацию о принятых к опубликованию рукописей третьим лицам, не являющимся рецензентами, потенциальными рецензентами, членами редакционной коллегии, работниками типографии. Неопубликованные данные, полученные из рукописей, не должны использоваться в личных исследовательских целях без письменного разрешения автора.

Ответственность экспертов (рецензентов)

Рецензенты должны давать объективные суждения и указывать на соответствующие опубликованные работы, которые еще не цитируются. К рецензируемым статьям следует обращаться конфиденциально. Рецензенты будут выбраны таким образом, чтобы не было конфликта интересов в отношении исследования, авторов и / или спонсоров исследования.

Ответственность авторов

Ответственность за содержание работы несет автор. Авторы обязаны вносить исправления, пояснения, опровержения и извинения, если такие имеются.

Автор не должен представлять статью, идентичную ранее опубликованной в другом журнале. В частности, не принимаются переводы на английский либо немецкий язык статей, уже опубликованных на другом языке.

В случае обнаружения в рукописи статьи существенных ошибок автор должен сообщить об этом редактору раздела до момента подписи в печать оригинал-макета

номера журнала. В противном случае автор должен за свой счет исправить все критические замечания.

Направляя статью в журнал, автор осознаёт указанную степень персональной ответственности, что отражается в письменном обращении в редакционную коллегия Журнала.

Теруге 29.12.20. ж. жіберілді. Басуға 10.01.21. ж. қол қойылды.
Форматы 297*420/2. Кітап-журнал қағазы.
Шартты баспа табағы 6,04. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген З. С. Исакова
Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3721

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
67-36-69

e-mail: kereku@psu.kz
www.vestnik.psu.kz
www.nitk.psu.kz