

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ПАВЛОДАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им.С.ТОРАЙГЫРОВА



1'2004

НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА



КАЗАХСТАН
ҒЫЛЫМЫ МЕН ТЕХНИКАСЫ

ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ МЕН ТЕХНИКАСЫ

№ 1 2004

С. ТОРАҒҒЫРОВ АТЫНДАҒЫ ПАВЛОДАР МЕМЛЕКЕТТІК
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

Адрес редакция:
637034, г. Павлодар,
ул. Ломова, 64.
Тел.: (3182) 45-11-43
(3182) 45-38-60
Факс: (3182) 45-11-23
E-mail: publish@pau.kz
pauka@pau.kz

С. Торағғыров
атындағы ПМУ-дің
академик С. Бейсембаев
атындағы ғылыми

МАЗМҰНЫ КІТАПХАНАСЫ

ЖАРАТЫЛЫСТАНУ ҒЫЛЫМДАРЫ

- Д.И. Большинская, Д.Ф. Парамонов, Ф.П. Парамонов*
СаО шығаруда «шайың» тазалау өдісінің нұсқасы 7
- Б.Н. Дроботун*
Кванторлық амалдарды өңгізу ерекшеліктері 12
- В.В. Рыдин*
Күштің және Ньютон заңдарының мәні түсіндіруі
үшін гидромеханикалық аналогияның қолдануы 20
- М.А. Исбаева, А. Нұхұлы*
Б.К. Қасенов, Ж.И. Сағинтаева, Ш.Б. Қасенова
Жылу сыйымдылық кірісіндірілуінің
температуралық бағасы $NdM^{II}M^{III}Mn_2O_6$ ($M^{II} - Li, Na,$
 $K, Cs; M^{III} - Mg, Ca, Sr, Ba$) 32
- А.А. Линчанский*
Зат анализінің және кондуктометриялық төмен
жиіліктегі өдісінің эксперименталды зерттелуі 35
- В.В. Рыдин, Д.В. Рыдинна*
Жылу сыйымдылықтың мағынасын айқындау үшін
гидротермодинамикалық аналогиясын қолдануы 42
- Т. Сабиров, Е. С. Абдрахманов*
Бұлтауышпен араластыратын аппараттың гидромеха-
никалық және гидродинамикалық сипаттамасының
өсебі маң зерттеуі 49

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- Кадысова Р.Ж., к.и.н., доц. (*главный редактор*)
Утегулов Б.Б., д.т.н., проф. (*зам. гл. редактора*)
Ельмуратова А.Ф., к.т.н., доц. (*отв. секретарь*)
Члены редакционной коллегии:
Бойко Ф.К., д.т.н., проф.
Газалиев А.М., д.х.н., проф., член-корр. НАН РК
Гамарник Г.Н., д.т.н., проф.
Глззырин А.И., д.т.н., проф.
Даукеев Г.Ж., к.т.н., проф.
Ергожин Е.Е., д.х.н., проф., академик НАН РК
Кислов А.П., к.т.н., доц.
Клецель М.Я., д.т.н., проф.
Кудерин М.К., к.т.н., доц.
Мансуров Э.А., д.х.н., проф.
Муртагулова К.Б., д.х.н., проф.
Пивень Г.Г., д.т.н., проф.
Сағинов А.С., д.т.н., проф., академик НАН РК
Сулесев Д.К., к.т.н., проф.
Сейтахметова Г.Н. (*тех. редактор*)

СОДЕРЖАНИЕ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

- Л.И. Большинская, Д.Ф. Парамонов, Ф.П. Парамонов*
Вариант метода очистки «дымов» производств
оксида кальция 7
- Б.И. Дроботун*
О специфике введения квантовых операций 12
- В.В. Рындин*
Использование гидромеханической аналогии для
пояснения смысла силы и законов Ньютона 20
- М.А. Исабаева, А. Нукулы*
Б.К. Касенов, Ж.И. Сагитаева, Ш.Б. Касенова
Оценка температурных зависимостей теплоемкостей
 $NdMM^{\text{II}}M_2O_4$ ($M^{\text{I}} - Li, Na, K, Cs; M^{\text{II}} - Mg, Ca, Sr, Ba$) 32
- А.А. Ливчанский*
Экспериментальные исследования нового
кондуктометрического низкочастотного метода
анализа веществ 35
- В.В. Рыбин, Д.В. Рындина*
Использование гидротермодинамической аналогии
для пояснения смысла теплоемкости 42
- Т. Сабиров, Е. С. Абдрахманов*
Расчет и исследование гидромеханических
и гидродинамических характеристик смешивающего
аппарата с мешалками. Часть I 49

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- М.К. Кудерин, Д.Б. Шайхина*
Производство нового строительного материала
из глины Сухановского месторождения 59
- Т.М. Байтасов*
Вопросы подземного строительства «с поверхности»
в крупных городах 63
- И.И. Бекбасаров*
Подготовка котлованов под ФВК (фундаменты
в вытрамбованных котлованах) с обеспечением
их проектной несущей способности 70
- С.К. Ельмуратов, Н.М. Шамрай, Н.Е. Айкенова*
Применение метода конечных разностей к расчету
пологих оболочек на вынужденные колебания 76

Корректоры:

К.С. Ергалиев (kaz.)
А.Б. Садвокасова (rus.)

Компьютерная верстка
С.В. Пашиненко

© ПГУ им. С. Торайгырова

К.К. Кайдаров, В.Н. Украинец

Влияние жесткости амортизирующего слоя, отделяющего тонкую цилиндрическую оболочку от упругой среды, на величину критической скорости нагрузки 79

**Б.Б. Утегулов, А.Б. Утегулов,
Д.Б. Утегулова, З.Д. Турсынбаева, В.В. Ткаченко**

Метод определения оптимальных параметров системы электроснабжения при неравномерно распределенной нагрузке 91

Ю.В. Кибартев

Исследование статических и динамических свойства координатного контроля момента синхронного электропривода 104

В.А. Козионов

Факторный анализ влияния режима подтопления на взаимодействие фундаментов с основанием 109

М.К. Кудерин, Д.Б. Шайхина

Оценка глины Сухановского месторождения в качестве сырья для производства памота 118

Р.М. Мустафина, Г.М. Мустафина

Статистические характеристики устройств с электромагнитным подвесом при случайных возмущениях 124

А.Ф. Проскураков, О.В. Никитина

Архитектура настраиваемых размерных связей в многодежевых станках с устройством ЧПУ 129

И.И. Бекбасаров

Определение энергии удара дизель-молота при забивке свай в грунты 139

Е.К. Сарымов, С.Н. Нураков

Влияние низкочастотных колебаний режущего органа на резание грунта в роторных экскаваторах ... 146

В.Т. Сташевич, М.К. Кудерин, Б.О. Смаилова

Керамические дренажные трубы из вскрышных пород угледобычи 151

**Б.Б. Утегулов, А.Б. Утегулов,
Д.Б. Утегулова, З.Д. Турсынбаева, В.В. Ткаченко**

Метод определения оптимальных параметров системы электроснабжения при равномерно распределенной нагрузке 156

За достоверность математических расчетов и текстов отвечают сами авторы и редакция.

Имена авторов публикаций не всегда совпадают с именами редакторов.

Перепечатка допускается за плату лишь на экзотических изданиях.

Журнал не возвращает корректуры. Ответственность за содержание материалов публикуемых в журнале и подписку Казахстана - Алматы.

НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА

№ 1 2004

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ ПАВЛОДАРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИМ. С. ТОРАЙГЫРОВА

- Б.Б. Телтаев, К.А. Айтбаев, Д.К. Саканов*
Экспериментальное изучение формирования
температурного поля основания городской дорожной
конструкции в зимних условиях с учетом подземной
теплотрассы 162
- Ш.К. Торпищев, Г.Т. Тжужнова, Б.Н. Кабышева*
Эффективный замедлитель схватывания гипсовых
вяжущих 168

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

УДК: 628.53

ВАРИАНТ МЕТОДА ОЧИСТКИ «ДЫМОВ» ПРОИЗВОДСТВА ОКИСИ КАЛЬЦИЯ

Л.И. Большинская, Д.Ф. Парамонов, Ф.П. Парамонов

*Павлодарский государственный университет**им. С. Торайгырова*

CaCO₃ дан CaO күйдіру әдісімен шығару үшін түтіннен CaO CaCO₃ күйдіру тәсілімен маңды боліп алу үшін псевдоқайнау тәртібінде жұмыс жасалатын бір-табақты құрылғы қолданылған.

Для удаления пыли из дымов производства CaO из CaCO₃ обжиговым методом использовано одно-тарельчатое устройство, работающее в режиме псевдокипения.

For elimination of dust from industrial smoke CaO from CaCO₃ by roasting method the single plate apparatus that works in condition of pseudo boiling was used.

При производстве негашеной извести – окиси кальция в шахтных печах всегда кускообразные известняк, каменный уголь загружаются в печь, поджигаются и по мере сгорания угля идет реакция



высвобождаемая продуванием воздуха снизу вверх, идет интенсивный вынос в атмосферу частиц известняка, угля, негашеной извести.

Содержание этих частиц в дыме всегда значительно превышает предельно допустимые концентрации, и поэтому возникает задача очистки дыма от вышеуказанных частиц.

Решением этой задачи могут быть самые разнообразные методы, аппараты, схемы сс, могут по стоимости и эффективности варьироваться в весьма широких пределах [1].

По литературным данным, с учетом специфики конкретного производства, нами была выбрана методика очистки дымов мокрым методом на тарельчатых тарелках в псевдокипящем слое.

Так как в состав дымов входят частицы CaCO_3 , CaO , имеющие хоть и низкую но отличную от нуля растворимость, то необходимо рассмотреть соотношение вода – частицы с тем, чтобы было исключено «зарастание» щелей в тарелке, был реализован её постоянный обмыв.

Поэтому из данной технологии должно быть устранено переливание, при котором отверстия в тарелке заранее считаются неомываемыми.

При расчете тарелки расход воздуха был равным $7200 \text{ м}^3/\text{час}$, концентрация частиц – $0,5 \text{ г}/\text{м}^3$. При этих условиях при содержании CaO в твердом 10% необходимо минимальное количество воды 290 литров в час.

Так как отходящие газы имеют высокую температуру ($\sim 208^\circ\text{C}$), то идет достаточно интенсивное испарение воды, что приводит к перенасыщенному состоянию систему $\text{H}_2\text{O}-\text{CaO}$.

Далее, при «псевдокипении» на тарелке образуются мелкодисперсные частицы воды, которые уносятся восходящим потоком. Решая задачу о тепловом и массовом балансе, получаем, что оптимальным оказывается расход, равный $1800 \text{ кг}/\text{час}$.

Для расчета аппарата необходимо найти оптимальное состояние между скоростью восходящего потока – W и так называемым «живым» сечением дырчатой тарелки – F_c , на которой будет происходить образование воздушных пузырьков. Поверхности этих пузырьков будут адсорбировать твердые частицы отходящих газов. От величины «живого» сечения, способа его реализации (размеры отверстий) зависит эффективность улавливания твердых частиц и себестоимость очистки: чем меньше линейные размеры отверстий, тем больше образуется воздушных пузырьков, но тем больше их сопротивление и соответственно тем меньше должно быть нагнетающее устройство. Следовательно, необходимо связать скорость восходящего потока – W , «живое» сечение F_c , линейные размеры отверстий, чья суммарная поверхность даст F_c .

Таким образом, исходные данные для проектирования и расчета следующие: нагрузка по дыму $L - 7200 \text{ м}^3/\text{час}$, удельный вес дыма $\gamma_d - 0,7 \text{ кг}/\text{м}^3$, нагрузка по воде $G - 1,8 \text{ м}^3/\text{час}$, удельный вес воды $\gamma_w - 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$, вязкость воды $\mu_w = 0,01 \text{ Пз}$, коэффициент поверхностного натяжения воды $\sigma = 72,75 \text{ дин}/\text{см}$, вязкость воздуха $\sigma_{\text{воз}} = 246 \text{ мкПз}$ ($t=200^\circ\text{C}$), тарелка щелевая, стальная, жидкость чистая, толщина тарелки $0,004 \text{ м}$, ширина щели – $0,004 \text{ м}$, длина щели $0,150 \text{ м}$, «живое сечение» $\approx 15-30\%$.

Определение оптимальной скорости потока в полном сечении шахтной печи велось из расчета 3-х вариантов «живого» сечения – 15%, 20%,

25%. Соответственно, можно варьировать диаметры тарелки или число щелей в ней.

Расчет ведется с использованием функции Y , которая с одной стороны через известные величины L , G , γ_o , γ_w может быть определена численно следующим образом:

$$Y = 6,5 \cdot e^{-1,4X} \quad (1)$$

$$X = \left(\frac{L}{CT}\right)^{1/4} \cdot \left(\frac{\gamma_o}{\gamma_w}\right)^{1/8} = 1,294 \times 0,403 = 0,522 \quad (2)$$

$$Y = 6,5 \cdot e^{-1,008} = 0,804 \quad (3)$$

С другой стороны, Y связана полуэмпирическим соотношением с оптимальной скоростью потока W и «живым» сечением F_c :

$$Y = \frac{W^2}{g \cdot d_s \cdot F_c^2} \cdot \frac{\gamma_o}{\gamma_w} \left(\frac{\mu_w}{\mu_o}\right)^{0,16} = 0,804 \quad (4)$$

Отсюда после подстановки известных значений получаем

$$W^2 = 49,84 F_c^2 \quad (5)$$

Если «живое» сечение F_c будет 0,15; 0,20; 0,25, то оптимальными скоростями W будут соответственно 1,06, 1,424, 1,77 м/сек.

Число щелей будет во всех случаях порядка 471 штук, но диаметры тарелки должны быть 1,55 м, 1,34 м, 1,20 м. При работе данного устройства, как мы уже отмечали, идет активное пенообразование и поэтому, если система многотарельчатая, то необходимо установить минимальное расстояние между тарелками по вертикали.

Оказалось, что для рассмотренных случаев эти расстояния должны быть 0,0306 м, 0,067 м, 0,067 м.

Следовательно, для всех случаев высота раздела тарелок не превышает 10 см, что позволяет необходимые детали установки располагать над тарелками на уровне $h_n + 10$ см.

Остается решить вопрос о потере напора ΔP при прохождении воздушного потока через печь, т.е. решить вопрос о мощности воздухоподогревательной установки.

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ст}} + \Delta P_c + \Delta P_o + \Delta P_{\text{н-ж}} + \Delta P_{\text{из}}$$

$\Delta P_{\text{ст}} - \Delta P_{\text{из}}$ в зависимости от выбранной конструкции составляет 50–70 мм H_2O ; ΔP_c – сопротивление сухой тарелки, ΔP_o – сопротивление, обусловленное силам поверхностного натяжения, $\Delta P_{\text{н-ж}}$ – сопротивление слоя пены.

Расчет велся по рекомендуемым [2,3] расчетным формулам.

$$\Delta P_c = \left[\alpha(1 - F_c)^2 + \frac{4000F_s \cdot d}{\text{Re}^{0,2}} \cdot \frac{\delta}{d_s} \right] \cdot \frac{W^2 \cdot \gamma_s}{2_s}, \text{ кг/м}^3, \quad (6)$$

где $\alpha = 2,0$, $\delta = 0,004$, $d_s = 0,0008$, $g = 9,8$ м/сек², $\text{Re} = 1594$ – число Рейнольдса.

$$\Delta P_e = \frac{4\delta_s}{d_s} \quad (7)$$

$$\Delta P_{h-a} = \frac{0,33\varphi_s \cdot h_s^{1,2}}{W^{0,4} \cdot f^{0,1}} \quad (8)$$

h_s – высота пены.

В результате получили для различных случаев «живого сечения»

$$\Delta P_c = 29,2 \text{ кг/м}^2, \quad \Delta P_e = 3,63 \text{ кг/м}^2, \quad \Delta P_{h-a} = 15,5 \text{ кг/м}^2.$$

Следовательно, потеря напора суммарная – ΔP меняется незначительно в пределах 45–48,5 кг/м², что является основанием для выбора марки воздухонагнетательной установки.

Контроль за составом дыма велся двумя способами. Необходимость контроля важна по двум причинам:

1. Предрасположенность установки к «заращению», т.е. к отложению на рабочих поверхностях пылеулавливателя $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CaCO_3 .
2. Использование отработанной воды, обогащенной $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 для дальнейших технологических переделов, в частности, при содержании CaO в дыму свыше 12%, смесь вода + $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{тн})}$ + $\text{CaCO}_{3(\text{тн})}$ является хорошим связующим для создания соответствующих строительных материалов.

Контроль за составом твердой фазы в отходящих газах велся гравиметрически и кислотным титрованием.

Совпадение результатов было вполне приемлемым (отличие не достигало 1,5–2,5%), и это позволяло достаточно объективно представлять картину обжигового процесса.

По результатам расчетов была спроектирована пылеулавливающая установка, разработаны рабочие чертежи как установки в целом, так и её отдельные узлы и детали, изготовлена тарелка. Лабораторные испытания показали её высокую эффективность.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Балтрас Л.Б.* Обеспыливание воздуха на предприятиях стройматериалов. – Стройиздат, 1990. – 180 с.
 2. Руководство к практическим занятиям в лаборатории процессов и аппаратов химической технологии. / Под ред. чл.-корр. АН СССР П.Г. Романкова. – Химия. Ленинградское отд., 1990. – 972 с.
 3. *Флора О., Смигельский О.* Расчеты по процессам и аппаратам химической технологии. – М.: Химия, 1971. – 448 с.
-
-

УДК 318.146.51

О СПЕЦИФИКЕ ВВЕДЕНИЯ КВАНТОРНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Б. Н. Дроботун

*Павлодарский государственный университет**им. С. Торайгырова*

Бұл жұмыста предикаттардың қолданбалы есептемесінің кванторлық амалдар синтаксисі мен семантикасының ерекшеліктері және оның «Математика курсына кіріспе» пәнінің аямағында берілу жағдайлары мен трактовкалары қазіргі математикалық тілде берілген.

В работе излагаются особенности синтаксиса и семантики кванторных операций в современном математическом языке прикладного исчисления предикатов, возможности их выявления и трактовки в рамках дисциплины «Вводный курс математики».

In the paper the particular features of syntax and semantics of quantifier operations, and possibilities of their revelation and interpretation on the base of such discipline as "Introductory course of mathematics" in the modern mathematical language of applied predicate calculus are stated.

1. Наиболее значительным и наиболее используемым фрагментом современного математического языка в математических дисциплинах вузов является язык прикладного исчисления предикатов. Создание этого языка, определившего становление метода формальных аксиоматических теорий, является одним из основополагающих достижений математики XX века. Явившись абстрактно-символическим образом естественных языков, он стал, в свою очередь, праобразом многочисленных языков программирования, основой возникновения и развития современных информационных технологий. В соответствии с этим, культура использования математического языка становится важнейшей составляющей общематематической культуры.

Изучение математической логики, а следовательно, и целенаправленное изучение строения современного математического языка, особенностей его синтаксиса и семантики осуществляется, согласно учебным

планам математических специальностей, на старших курсах. В связи с этим, взгляд на языковую составляющую математики при изучении математического анализа, алгебры и геометрии на младших курсах носил до последнего времени в значительной степени утилитарный характер, связанный с формальным использованием специальной символики, сложившейся в рамках той или иной конкретной дисциплины.

С включением в учебные программы математических специальностей новой дисциплины «Вводный курс математики» появляется реальная возможность уже в первом семестре изучить в рамках этой дисциплины основы алгебры высказываний и алгебры предикатов, языковые структуры которых являются базовыми составляющими языка современной математики. В работе анализируются синтаксические и семантические особенности языка прикладного исчисления предикатов, связанные с введением кванторных операций; возможности их выявления и трактовки этих особенностей в рамках дисциплины «Вводный курс математики».

Следует отметить, что кванторные операции играют важнейшую роль в образовании синтаксических конфигураций языка прикладного исчисления предикатов. Но, к сожалению, приходится констатировать, что пониманием возможности формального применения кванторов всеобщности и существования, как сокращённых символических записей словосочетаний «для каждого $x...$ » и «существует $x...$ » (и только) наиболее точно характеризуется уровень восприятия кванторных операций подавляющим большинством студентов. Далекое не все студенты математических специальностей в полной мере осознают синтаксические особенности, связанные с применением этих операций, специфику семантической интерпретации результатов их применения и их влияние на природу алгоритмических проблем. Тем не менее, именно введение кванторных операций, отнесённых к предикатам, заданным на бесконечных множествах, даёт возможность сделать решающий шаг от алгебры высказываний к алгебре предикатов. Алгебра предикатов в отличие от алгебры высказываний, за счёт обращения к анализу субъектно-предикатной структуры высказывательных форм, обладает значительно большими выразительными возможностями, что позволяет средствами её языка полнее отразить закономерности логического мышления и подготовить условия для их формализации.

Субъектно-предикатный анализ высказывательных форм представляет собой упрощённый вариант грамматического анализа предложений

естественного языка. В частности, в отличие от грамматического анализа, где подлежащее и сказуемое выделяются обычно как два отдельных слова, в алгебре предикатов принято более широкое толкование этих терминов. Так, под предикатом (сказуемым) понимается вся та часть высказывательной формы, в которой характеризуется субъект (подлежащее). В этом смысле, говоря об n -местном предикате $P(x_1; \dots; x_n)$, под субъектом понимают упорядоченную n -ку $(x_1; \dots; x_n)$ переменных $x_1; \dots; x_n$, об отношениях и зависимостях, между значениями которых говорится в предикате $P(\dots)$ этой формы. Применение кванторных операций предполагает разделение переменных субъекта на свободные и связанные. Предикаты, в терминах которых предполагается выражать логико-алгебраические свойства алгебраических систем, берутся в качестве исходных. В этих предикатах все переменные считаются свободными. Если предикат $P(x_1; \dots; x_n)$ определен на множестве M и $a_1; \dots; a_n \in M$, то запись $M|P(a_1; \dots; a_n)$, в дальнейшем будет означать, что высказывание $P(a_1; \dots; a_n)$ является истинным (при $x_1 = a_1; \dots; x_n = a_n$).

2. Определение кванторных операций желательно предварить примерами, показывающими недостаточность логических операций для символической записи предложений математического языка, которые сформулированы в терминах конкретных предикатов, взятых в качестве исходных.

Рассмотрим предложение вида: «Для всякой точке P_1 декартовой плоскости XOY на этой плоскости найдется единственная точка P_2 , симметричная ей относительно оси абсцисс». Но на первый взгляд, это предложение является двухместной высказывательной формой от переменных P_1 и P_2 , определенной на множестве всех точек декартовой плоскости. В тоже время легко понять, что это предложение является истинным «вообще», без предварительной замены переменных P_1 и P_2 конкретными точками плоскости. Причём также попытка подобной замены представляется абсурдной. Дело в том, что в этом предложении говорится об определенном свойстве самой плоскости, прообразом которого является утверждение о возможности разбиения плоскости любой прямой (принадлежащей этой плоскости) на две полуплоскости. Переменные P_1 и P_2 в этом предложении не являются переменными в обычном смысле этого слова, а введены в текст предложения для того, чтобы в наиболее содержательной форме (на языке отношения симметрии) отразить факт возможности этого разбиения. Таким образом, рассматриваемое предложение хотя и содержит переменные, является не высказывательной

формой, а высказыванием, причём истинным. Заметим, что если в качестве исходного предиката рассмотреть предикат: «Точка P_1 декартовой плоскости XOY симметрична точке P_2 этой плоскости относительно оси абсцисс (т.е. двухместный предикат $R(P_1; P_2)$), то можно прийти к выводу, что рассмотренное выше высказывание получено из этого предиката не за счёт замены переменных P_1 и P_2 конкретными точками, а другим путём – с использованием каких-то новых операций.

Аналогичным образом, не является двухместным предикатом и предложение: «Для всякого натурального числа x найдётся простое число y , превосходящее x ». Это предложение также является истинным высказыванием, причём его истинностное значение ни в коей мере не зависит от конкретных значений переменных x и y из множества N , а является фактом отражения бесконечности множества простых чисел и наличием естественного линейного порядка на множестве N . Тем не менее, анализ строения этого предложения показывает, что оно получено из трёх простых предикатов $S(x)$; $P(y)$; $Q(x, y)$, определённых на множестве действительных чисел R , причём:

$R \models S(a) \Leftrightarrow a$ – натуральное число;

$R \models P(b) \Leftrightarrow b$ – простое число;

$R \models Q(a, b) \Leftrightarrow b$ больше a .

Все попытки построения данного предложения из предикатов $S(x)$; $P(y)$; $Q(x, y)$, с использованием только операций $\&$; \vee ; \rightarrow ; \leftrightarrow ; \sim не приводят к успеху, то есть становится очевидным, что при его построении из этих предикатов дополнительно применялись существенно новые конструкции. Субъектно-предикатная природа высказывательных форм позволяет выявить эти конструкции посредством введения новых операций: операции связывания *квантором всеобщности* и операции связывания *квантором существования*.

Рассмотрим, в частности, предложение вида: «Существует река x , на берегу которой расположен город y ». Ясно, что, взяв в качестве M – множество имён городов, мы при любом значении y из M получим высказывание, которое будет истинным, если некоторый город расположен на берегу реки и ложным в противном случае. Несмотря на наличие двух переменных x и y , приведенное предложение является, по существу, предикатной формой от одной переменной y . Специфика вхождения переменной x , таким образом, существенно отличается от специфики вхождения переменной y . В соответствии с этим, говорят, что переменная y свободна, а переменная x в данном предложении связана. На индуктив-

ном уровне, свободные переменные предиката – переменные, вместо которых можно подставлять любые элементы из области его определения (при этом будут получаться высказывания или новые предикатные формы).

Пусть $P(x)=P(x; x_1; \dots; x_n)$ – исходный $(n+1)$ – местный предикат, определённый на множестве M . То, что предикат $P(x)$ задан на множестве M означает, что для любых $b; b_1; \dots; b_n \in M$ уже определено какое из отношений $M \models P(b; b_1; \dots; b_n); M \not\models P(b; b_1; \dots; b_n)$ имеет место. Исходя из $P(x)$, можно получить предложения вида:

- а) «Для всякого $x, P(x; x_1; \dots; x_n)$ »;
- б) «Существует $x, P(x; x_1; \dots; x_n)$ ».

На интуитивном уровне ясно, что при заданных значениях переменных $x_1; \dots; x_n$ из множества M предложения а) и б) превратятся в высказывания, истинностные значения которых не зависят от x . Т.е. предложения а) и б) являются новыми n -местными предикатами. Учитывая это обстоятельство, из $P(x)$ получаем предикаты $R_1=R_1(x_1; \dots; x_n)$ и $R_2=R_2(x_1; \dots; x_n)$, определённые на множестве M , по следующим правилам.

Пусть $a_1; \dots; a_n \in M$. Положим:

- а) $M \models R_1(a_1; \dots; a_n) \Leftrightarrow M \models P(a; a_1; \dots; a_n)$ для любого $a \in M$.

Для предиката R_1 используется запись $(\forall x)P(x) = (\forall x)P(x; x_1; \dots; x_n)$. Говорят, что этот предикат получен из предиката $P(x)$ посредством применения к нему операции *связывания квантором всеобщности* по переменной x . Таким образом, переменная x , будучи свободной, в предикате $P(x)$, становится связанной в предикате $(\forall x)(P(x))$.

- б) $M \models R_2(a_1; \dots; a_n) \Leftrightarrow M \models P(a; a_1; \dots; a_n)$ хотя бы для одного $a \in M$.

Для предиката R_2 используется запись $(\exists x)(P(x)) = (\exists x)P(x; x_1; \dots; x_n)$. Говорят, что этот предикат получен из предиката $P(x)$ посредством применения к нему операции *связывания квантором существования* по переменной x . Таким образом, переменная x , будучи свободной в предикате $P(x)$, становится связанной в предикате $(\exists x)(P(x))$.

Пусть $M=\{1; 2; \dots; n; \dots\}$ – множество натуральных чисел, отличных от 0, и предикат $Q(x, y)$ задан на M по правилу:

- $M \models Q(r; s) \Leftrightarrow s$ делится на r , для любых $r, s \in M$.

Тогда одноместный предикат $(\forall y)Q(x, y)$ при $x=1$ превращается в истинное высказывание, так как любое число $y = m \in M$ делится на 1, т.е. $M \models (\forall y)Q(1, y)$. Если же $x = t \neq 1$, то $M \not\models (\forall y)Q(t, y)$. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что $M \models (\exists x)(\forall y)Q(x, y)$.

Аналогично, одноместный предикат $(\exists y)Q(x, y)$ будет истинным пре

любых $x = m \in M$, т.к. для любого $m \neq 0$ существуют кратные этого числа, поэтому $M \models (\forall x)(\exists y)Q(x, y)$

Рассмотренный пример показывает, что если в предикате любой местности $n \neq 0$, определённом на множестве M , все переменные связать кванторами, то получится высказывание, истинное или ложное, о свойстве элементов самого множества M .

Желательно рассмотреть ещё ряд примеров подобного рода, выбирая в качестве исходных рекурсивные предикаты на множестве натуральных чисел и выражая с их помощью, посредством сложных предикатов, такие свойства и отношения, истинностные значения которых на конкретных наборах значений для переменных можно было бы вычислить эффективно.

В. Далее, необходимо обратить внимание студентов на особенности логик исчисления алгебры предикатов. Прежде всего, следует отметить, что в отличие от алгебры высказываний, в алгебре предикатов, во избежание возможных недоразумений, связанных со спецификой применения кванторных операций, вводятся определённые ограничения на свободу применения логических и кванторных операций. Природу возникновения этих недоразумений, а также необходимость и естественность ограничений, предлагаемых ограничений для устранения причин их появления, целесообразно выявлять и обосновывать параллельно рядом конкретных примеров. Так как, в общем случае, должна допускаться любая последовательность применения логических и кванторных операций, то целесообразно предварительно обосновать необходимость ограничений на применение логических операций. Двуместные логические операции могут применяться только к таким двум (равно построенным) сложным предикатам A и B , что любая свободная переменная предиката A не может быть связана в предикате B и наоборот. Это даст возможность избежать таких ситуаций, когда одна и та же переменная может оказаться в одном и том же сложном предикате и свободной и связанной, а тем самым избежать и таких ситуаций, когда одна и та же связанная переменная попадает в области действия двух или нескольких кванторов одновременно.

Так, например, применяя к сложным предикатам $(\forall x)(\exists y)P(x, y, z, u)$ и $(\forall t)(\exists z)Q(x, t, z)$, удовлетворяющих этому условию (P и Q — простые предикаты), двуместную логическую операцию $\alpha \in \{\&, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow\}$, мы получим сложный предикат

$$((\forall x)(\exists y)P(x, y, z, u)\alpha(\forall t)(\exists x)Q(x, t, z)),$$

связанными переменными, которого являются x, y, t а свободными z, u любую из этих свободных переменных мы можем связать теперь любым квантором (например, связывая переменную z квантором \forall , мы получим новый сложный предикат

$$(\forall z)((\forall x)(\exists y)P(x, y, z, u)\alpha(\forall t)(\exists x)Q(x, t, z)),$$

в котором переменная u свободна, а переменные x, y, z, t — связаны).

Если же мы применили бы операцию $\alpha \in \{\&, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow\}$ к сложным предикатам $(\forall x)(\exists y)Q(x, y, z)$ и $(\forall y)P(x, y)$, в первом из которых переменная x связана, а во втором свободна, то мы получили бы выражение вида: $((\forall x)(\exists y)Q(x, y, z)\alpha(\forall y)P(x, y))$, в котором связанными являются переменные x и y , а свободными — x, z .

Считая переменную x в этом выражении свободной, мы могли бы связать её любым квантором, что привело бы, например, к выражению вида: $(\exists x)((\forall x)(\exists y)Q(x, y, z)\alpha(\forall y)P(x, y))$, в котором переменная x оказалась бы сразу в области действия двух разноимённых кванторов \forall и \exists . Понятно, что попытки наделять каким-то разумным истинностным содержанием выражение подобного рода окажутся безуспешными, то есть при таком свободном подходе к применению операций мы не всегда будем получать сложные предикаты, определённые на множестве M .

Тем не менее, было бы неразумным утверждать, что к сложным предикатам типа $(\forall x)(\exists y)Q(x, y, z)$ и $(\forall y)P(x, y)$ никак не может быть применена никакая из операций $\&, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow$. Предварительно заметим, что если в простом или сложном предикате $R(x_1, x_2, \dots, x_n)$, определённом на множестве M , заменить одну или несколько различных переменных, другими не входящими в него, различными переменными, то этот предикат, как функция, аргументы которой принимают свои значения в множестве M и значениями которой являются высказывания, не изменится. В соответствии с этим, прежде чем связывать сложные предикаты $(\forall x)(\exists y)Q(x, y, z)$ и $(\forall y)P(x, y)$ операцией $\alpha \in \{\&, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow\}$, заменим переменную x , входящую свободно во второй из них, переменной t , не входящей ни в один из этих предикатов (вместо этого, по тем же соображениям, можно было бы и связанную переменную x заменить в первом предикате, одновременно и в кванторе и в области его действия, на любую не входящую ранее ни в один из этих предикатов, переменную). В результате мы получили бы, вместо данных предикатов, предикаты $(\forall x)(\exists y)Q(x, y, z)$ и $(\forall y)P(t, y)$ (или $(\forall t)(\exists y)Q(t, y, z)$ и $(\forall y)P(x, y)$), к

которыми мы могли бы применить любую из операций $\&, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow$ без каких-либо ограничений. Выявляя синтаксические особенности алгебры предикатов, необходимо отметить и одну её особенность семантического характера: в алгебре высказываний, левая определённость истинностных значений сложных высказываний, мы одновременно с этими определённостями получаем и эффективные способы их вычисления. В отличие от алгебры предикатов, имея сложный предикат $A(x_1, \dots, x_n)$, построенный из простых предикатов, определённых на множестве M , посредством применения к ним (в том или ином порядке) логических и кванторных операций и набор a_1, \dots, a_n конкретных значений из M для x_1, \dots, x_n , соответственно, мы далеко не всегда можем вычислить истинностное значение высказывания $A(a_1, \dots, a_n)$.

Основываясь на этом существенном отличии алгебры предикатов от алгебры высказываний, представляется уместным на пропедевтическом уровне познакомить студентов с сущностью алгоритмических проблем, причиной их возникновения и их методологическом значении для математики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бушнев П.С. Элементы математической логики. – М., Наука, 1973. – 400 с.
2. Баранов И.А., Максимова Л.Л. Задачи по теории множеств, математической логике и теории алгоритмов. – М., Наука, 1975. – 240 с.
3. Дроботкин Б.Н. Методические аспекты изучения алгоритмических проблем в курсе «Математическая логика» // Наука и техника Казахстана. – 2004. – №1 – С. 38-39.

УДК 531:530.145:536.533

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ АНАЛОГИИ ДЛЯ ПОЯСНЕНИЯ СМЫСЛА СИЛЫ И ЗАКОНОВ НЬЮТОНА

В.В. Рындин

Павлодарский государственный университет
им. С.Торайгырова

Мақалада Ньютонның екінші заңымен және масса өзгертугері заңымен, Ньютонның үшінші заңымен және үздіксіздік теңдеуімен, масса ағынымен және импульс ағынымен (қуымен), масса және импульс арадағы аналогия көрсетіледі.

В статье проводится аналогия между массой и импульсом, потоком массы и потоком импульса (силой), вторым законом Ньютона и законом изменения массы, третьим законом Ньютона и уравнением неразрывности (склонности).

The analogy between mass and impulse, flow of mass and flow of a impulse (force), the second law of Newton and law of change of mass, the third law of Newton and equation of indissolubility is given in this article.

В физике до настоящего времени сила вводится уравнением

$$\vec{F} = d(m\vec{c}) / dt = d\vec{K} / dt = \dot{\vec{K}}, \quad (1)$$

которое отождествляется со вторым законом Ньютона (ВЗН): *сила, действующая на тело, равна скорости изменения импульса тела* $\vec{K} = m\vec{c}$ ¹

Формула $\vec{F} = m\vec{a} = d\vec{K} / dt$, (2)

получаемая из (1) в случае $m = \text{const}$, может рассматриваться также в качестве динамического определения силы и служит для выбора её единицы – ньютона. $1\text{Н} = 1\text{ кг}\cdot\text{м} / \text{с}^2$

В связи с такой трактовкой понятия силы возникает вопрос: является ли уравнение (1) законом или это просто уравнение связи, вводящее физическую величину силу, подобно тому, как с помощью уравнения связи

¹ Нельзя признать рациональным использование символа p для обозначения импульса, т.е. обозначение модуля импульса p совпадает с обозначением давления – основной величины теплотехники, гидромеханики и многих других дисциплин.

где V вводится плотность однородного вещества – физическая величина, данная отношением его массы к объёму

Значение довода в пользу того, что уравнение (1) является законом, а не просто уравнением, определяющим силу, приводится утверждение, что силу и массу можно определить независимо друг от друга, т. е. определить силу, действующую на тело, не зная его массы, и определить массу, не зная силу. Однако и в уравнении связи для плотности можно отдельно определить плотность из уравнения состояния газа, массу через силу тяжести, а объём по геометрическим формулам, но никто не считает уравнение $\rho = m/V$ каким-либо законом.

Отвечая на вопрос: является ли уравнение (1) объективным законом природы, можно, если законы Ньютона (второй и третий, так как первый представляет собой просто повторение принципа инерции Галилея) считать, как это сделано в [1], из закона сохранения импульса, являющегося наиболее фундаментальным законом как и любой закон сохранения, так и закон сохранения импульса получают из законов Ньютона, отдавая дань заслугам Ньютона).

В данной работе для интерпретации законов Ньютона и самой силы вводится гидромеханическая аналогия. Объяснительная – экспликативная – функция аналогии существенна для развития науки. Так, в качестве примеров можно привести «фундаментальную» аналогию растворения соли Вант Гоффа, аналогию между растворами и взвешами Эйнштейна, использованную им для объяснения броуновского движения; аналогию движущимся шарика в жидкости и электрона в электромагнитном поле для объяснения его электромагнитной массы, а также гидротермодинамическую аналогию между термодинамической системой и раствором с водой, предложенную Х.Б. Колленом и развитую в работе [2]. Основание гидромеханической аналогии лежит формальное сходство дифференциальных уравнений, описывающих изменение массы подвижной среды (жидкости, газа) внутри контрольной поверхности и изменение массы тела при его взаимодействии с другими телами. В этой аналогии аналогом импульса является масса.

Для физической величину, характеризующую запас материи (вещества) под действием в системе, обозначим символом B , то балансовое уравнение, выражающее закон изменения этой величины в результате взаимодействия системы с окружающей средой, можно записать в следующем виде:

$$dB = \sum \delta B_i \quad (3)$$

В соответствии с (3) для контрольной поверхности и отдельного тела законы изменения массы и импульса можно сформулировать так: *изменение массы внутри контрольной поверхности равно алгебраической сумме масс втекающей и вытекающей среды и изменение импульса тела равно векторной сумме импульсов подводимого и отводимого движения*, что аналитически выражается уравнениями:

$$dm = \sum \delta m_i = \delta m_{\text{втек}} + \delta m_{\text{вытек}} \quad (4)$$

$$d\vec{K} = \sum \delta \vec{K}_i = \delta \vec{K}_{\text{подвод}} + \delta \vec{K}_{\text{отвод}} \quad (5)$$

Суть этих трёх уравнений состоит в том, что они устанавливают связь между «**собственными**» и «**границными**» величинами. Под **собственными** величинами будем понимать величины, приращения которых (полные или частные) являются однозначными **функциями параметров состояния** системы. Приращения собственных величин определяют изменение количества субстанции (вещества или движения) в системе. Для обозначения полного и частного элементарных **приращений собственных величин** следует использовать **символы полного d и частного дифференциалов**, указывающие на то, что данное приращение однозначно определяется **через параметры состояния** системы. Примерами собственных величин являются масса и импульс однородного тела, полные приращения которых являются однозначными функциями соответствующих параметров состояния,

$$dm = d(\rho V) = \rho dV + V d\rho, \quad (6)$$

$$d\vec{K} = d(m \vec{c}) = m d\vec{c} + \vec{c} dm \quad (7)$$

Под **границными** величинами будем понимать величины, которые не являются однозначными функциями параметров состояния системы и определяются в зависимости от условий протекания процессов на границе, отделяющей систему от окружающей среды. Границные величины определяют количество субстанции, переданной через отдельные участки границы системы. Для обозначения **элементарности** этих величин используется **символ δ**, который одновременно указывает и на то, что величина, обозначенная символом δB, **не является приращением** (полным или частным) параметров состояния, т.е. не может быть однозначно определена **через параметры состояния** системы, а определяется **через граничные параметры**.

Итак, балансовые соотношения, претендующие на статус физических законов сохранения при переносе субстанции через границы системы, должны записываться в виде

$$(dB)_{\text{об}} = (\sum \delta B_i)_{\text{границ}} \quad (8)$$

где в левой части стоит приращение собственной величины, однозначно определяемое через частные приращения параметров состояния системы (это подчёркивается выбором символов элементарных приращений d и δ), а в правой части стоят граничные величины, которые не являются какими-либо приращениями одних только параметров состояния системы, определяются также через величины, характеризующие интенсивность переноса вещества и движения через границы системы (что подчёркивается выбором символа δ для этих величин).

Поскольку символ δ – символ элементарности – ещё не нашёл широкого применения в научной литературе, отметим области его применения. Символ δ широко применяется в механике жидкости и газа [3] и в известной термодинамике [4] с целью использования методов равновесной термодинамики к системам с неоднородным состоянием. Для этого их разбивают на совокупность отдельных частей (подсистем, локальных систем) достаточно малых размеров (элементарных). Линейные размеры таких подсистем δx , δy , δz должны быть малыми по сравнению с характерными размерами всей системы (например, диаметром труб), но значительно больше длины свободного пробега микрочастиц.

Объём таких малых систем обозначается δV , его деформация – $d(\delta V)$; масса – $\delta m = \rho \delta V$, её изменение – $d(\delta m)$. Плотность определяется как отношение массы однородной элементарной подсистемы к её объёму: $\rho = \delta m / \delta V$. Такое определение плотности предпочтительнее общепринятого: $\rho = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\Delta m}{\Delta V}$, так как при стягивании объёма в точку возникает неопределённость в определении плотности, связанная с тем, попала ли выбранная точка на какую-либо из молекул, ядро атома (в этом случае плотность может быть порядка 10^{16} кг / см³) или в промежуток между ними (в этом случае плотность равна нулю). Элементарный импульс такой подсистемы обозначается $\delta \vec{K} = \vec{v} \delta m$.

В приведённых примерах δx , δV и δm являются сугубо положительными величинами. Однако в процессах переноса вещества через границы системы элементарная масса является алгебраической величиной, и её знак совпадает со знаком изменения массы вещества в системе: масса

втекающей среды положительна $\delta m_{\text{втек}} > 0$ (при втекании среды масса вещества в системе увеличивается $dm > 0$), а при вытекании – отрицательна $\delta m_{\text{вытек}} < 0$ (при вытекании масса вещества в системе уменьшается $dm < 0$).

Примером использования символа δ для обозначения элементарных величин в физике является запись уравнения первого закона термодинамики в дифференциальном виде¹ [5]

$$\delta Q = dU + \delta W,$$

где dQ и dW – элементарные теплота и работа (алгебраические величины).

Разделив все члены уравнений (3)–(5) на элементарный промежуток времени dt , за который произошло изменение величин, получим:

$$dB/dt = \sum \delta B_i / dt, \quad (9)$$

$$dm/dt = \delta m_{\text{втек}}/dt + \delta m_{\text{вытек}}/dt = \sum \delta m_i / dt, \quad (10)$$

$$d\vec{K}/dt = \delta \vec{K}_{\text{приток}}/dt + \delta \vec{K}_{\text{отвод}}/dt = \sum \delta \vec{K}_i / dt \quad (11)$$

Левые части уравнений (10) и (11) в соответствии с (6) и (7) можно записать в виде:

$$dm/dt = d(\rho V)/dt = \rho dV/dt + V d\rho/dt, \quad (12)$$

$$d\vec{K}/dt = d(m\vec{c})/dt = m d\vec{c}/dt + \vec{c} dm/dt \quad (13)$$

В частных случаях течения несжимаемой жидкости ($d\rho = 0$) или жёсткого трубопровода ($dV = 0$), а также неизменности массы движущегося тела уравнения (12) и (13) примут вид:

$$dm/dt = \rho dV/dt = \rho \dot{V}, \quad (14)$$

$$dm/dt = V d\rho/dt = V \dot{\rho}, \quad (15)$$

$$d\vec{K}/dt = m d\vec{c}/dt = m \dot{\vec{c}} \quad (16)$$

Поскольку уравнения (12)–(16), устанавливающие связь между полными и частными приращениями, являются лишь частью общего уравнения (8), то именно поэтому они не являются какими-либо законами сохранения. Для получения законов сохранения надо к этим уравнениям

¹ Многие физики до настоящего времени используют для обозначения теплоты и работы символы dQ и dW не подозревая, что такие обозначения устарели. В строгом понимании символы дифференциала d (понятие дифференциала ввёл Г. Лейбниц в 1684 г. как бесконечно малой разности двух соседних значений величины) эти обозначения означают приращения теплоты и работы в системе, хотя известно, что теплота и работа не содержатся в системе, но характеризуют состояние системы и поэтому «прирастить» не могут. Иными словами, такие обозначения дезориентируют читателей.

добавить правые части, конкретизирующие особенности взаимодействия системы с окружающими телами на её границе. В частном случае это взаимодействие может равняться нулю. Например, в гидромеханике в потоке выделяется его элемент (закрытая подвижная система), который движется вместе с потоком и поэтому через его границы не происходит притока вещества. Для такого подвижного элемента среды выполняется закон сохранения массы $m = \text{const}$, который в дифференциальном виде можно получить из выражения (12), приравняв его нулю (путём прибавления правой части, равной нулю),

$$dm/dt = \rho dV/dt + Vd\rho/dt = 0.$$

Если тело движения в однородном (пустом) пространстве (т.е. оно не взаимодействует с окружающей средой), то для него выполняется закон сохранения импульса (ЗСИ) $\vec{K} = \text{const}$, который в дифференциальном виде можно получить из выражения (13), приравняв его нулю,

$$d\vec{K}/dt = m d\vec{c}/dt + \vec{c} dm/dt = 0.$$

Отношение элементарной величины δB , определяющей количество какой-либо субстанции через границы системы за некоторый промежуток времени dt , к этому промежутку времени принято называть «**поток данной физической величины**» [3, 5]:

$$B_i = \delta B / dt \quad (17)$$

Например, физическая величина «**поток массы**» через i -е сечение площади A определяется как отношение элементарной массы вещества δm_i , прошедшего через i -е сечение за промежуток времени dt , к этому промежутку времени:

$$m_i = \delta m_i / dt = - \int_A \rho \vec{c} \vec{n} \delta A.$$

Аналогичным образом, отношение элементарного импульса $\delta \vec{K}_i$ упорядоченного движения (УД), переданного от i -го тела через границу системы за промежуток времени dt , к этому промежутку времени есть не что иное, как **поток импульса**, или **сила** – количественная характеристика упорядоченного движения, передаваемого через границу системы в единицу времени,

$$\vec{F}_i = \delta \vec{K}_i / dt \quad (18)$$

Следовательно, понятие **силы**, определяемое уравнением связи (18) как отношение элементарного импульса $\delta \vec{K}_i$ упорядоченного движения, переданного через границу системы за промежуток времени dt , к этому про-

межутку времени, эквивалентно понятию потока импульса, а термины «сила» и «поток импульса» являются синонимичными наименованиями одной и той же величины.

Часто силу (поток импульса) определяют как отношение полного приращения импульса тела к промежутку времени

$$\vec{F} = d\vec{K} / dt = m\vec{a} \quad (19)$$

Поскольку понятие силы существует независимо от того, изменяются ли внутренние параметры системы или нет, то в общем случае неправильно вводить понятие силы через внутренние параметры системы (ускорение) по формуле (19). Как будет показано ниже, это справедливо только для одной силы – «собственной» силы, или силы инерции. С другой стороны, такое определение силы снижает статус второго закона Ньютона до уровня уравнения связи, определяющего силу.

На самом деле уравнением, выражающим ВЗН, является балансовое соотношение для скорости изменения импульса (11), которое с учётом выражения (18) для силы запишется в виде (при $m = \text{const}$)

$$d\vec{K} / dt = m\vec{a} = \sum \vec{F}_i = \sum \delta\vec{K}_i / dt,$$

где левая часть (скорость изменения импульса тела) находится через собственные (внутренние) параметры состояния системы – массу и ускорение, а правая часть – силы (потоки импульсов) – через граничные величины (внешние параметры), характеризующие особенности взаимодействия данного тела с другими телами. Например, при движении тела в вязкой среде силы вязкости могут определяться не пропорционально ускорению, а пропорционально скорости в первой $F = k\dot{\epsilon}$ или во второй $F = k\dot{\epsilon}^2$ степени, сила давления пружины на тело пропорционально её деформации $F = kx$. Как видим, в общем случае каждая отдельная сила определяется по собственной формуле, а не как произведение массы на ускорение.

Аналогичное уравнение можно записать для скорости изменения массы внутри контрольной поверхности неизменного объёма:

$$dm/dt = V\dot{\rho} = \sum m_i = \sum \delta m_i / dt$$

Различают следующие виды сил. **Внешние** силы \vec{F}^e (индекс e от англ. *external* – *внешний*), направленные к телу снаружи (извне) и совпадающие по направлению с приращением его импульса $d\vec{K}$, и **внутренние** силы \vec{F}^i (индекс i от англ. *internal* – *внутренний*), направленные из тела и совпадающие по направлению с убылью его импульса $-d\vec{K}$. Внешние и

внутренние силы равны по модулю и противоположны по направлению (по знаку)

$$\vec{F}^* = -\vec{F}^i \quad (20)$$

Сумму всех сил принято называть результирующей всех сил или результирующей (суммарной) силой $\vec{F}_{\text{рез}}$. В соответствии с рассмотренными видами сил уравнение ВЗН (1) для тел постоянной массы можно записать в виде:

$$d\vec{K} / dt = m\vec{a} = \sum \vec{F}_i^e = \vec{F}_{\text{рез}}^e, \quad (21)$$

$$-d\vec{K} / dt = -m\vec{a} = \sum \vec{F}_i^i = \vec{F}_{\text{рез}}^i. \quad (22)$$

Согласно этим уравнениям ВЗН формулируется так: *скорость приращения импульса тела равна сумме всех внешних сил, действующих на тело, или результирующей внешних сил¹, скорость убыли импульса тела равна сумме всех внутренних сил или их результирующей*. Отличие уравнения (21) от (18) заключается в том, что уравнение (21) выражает закон скорости изменения импульса тела, не определяя при этом каждую силу в отдельности, входящую в состав результирующей силы, – для этого служит уравнение (18). Согласно уравнению (18), сила (поток импульса) определяется независимо от того, изменяется импульс тела или нет, т. е. и в случае $d\vec{K} = 0$. Следовательно, если есть перенос УД через границу системы ($d\vec{K}_i \neq 0$), то, согласно уравнению связи (18), интенсивность такого переноса всегда можно охарактеризовать понятием силы (потока импульса), что нельзя сказать об уравнении (1).

Из всех внутренних сил можно выделить силу, значение которой однозначно определяется через внутренние (собственные) параметры системы. Эту силу можно назвать *собственной силой (собственным потоком импульса)*, или *силой инерции*

$$\vec{F}_{\text{соб}} = \vec{F}_{\text{ин}} = -d\vec{K} / dt = -m\vec{a} \quad (23)$$

В соответствии с этим выражением, собственный поток импульса (собственная сила, сила инерции) характеризует интенсивность реального потока движения из тела лишь при убыли импульса этого тела, т. е. при торможении тела. При разгоне тела к нему подводится движение извне, что характеризуется уже не убылью, а приращением импульса. Поэтому собственная сила (сила инерции), определяемая при разгоне тела по скорости убыли импульса тела (23), будет условной силой (условным

¹ Именно такую формулировку дал Ньютон своему закону, а не сила равна произведению массы на ускорение, как часто пишут и говорят.

потоком импульса), или псевдосилой, характеризующей интенсивность воображаемого потока движения из тела.

Если каждой внутренней силе в соответствии с (20) можно сопоставить внешнюю силу, то собственной силе (силе инерции) можно сопоставить лишь результирующую силу. В соответствии с (23) ВЗН (21) часто записывают в виде

$$\vec{F}_{\text{ин}} + \sum \vec{F}_i^e = 0.$$

Исходя из понятия силы как потока импульса, можно дать логически более простую формулировку третьего закона Ньютона (ТЗН). В случае взаимодействия двух тел без диссипации УД ($d\vec{K}_1 = -d\vec{K}_2$) ВЗН можно записать в виде [1]:

$$d\vec{K}_1 / dt = \vec{F}_{1 \leftarrow 2}^e = -d\vec{K}_2 / dt = \vec{F}_{2 \rightarrow 1}^{\text{соб}},$$

или

$$\vec{F}_{1 \leftarrow 2}^e = \vec{F}_{2 \rightarrow 1}^{\text{соб}} \quad (24)$$

Полученное соотношение и составляет содержание ТЗН. Согласно (24), ТЗН можно сформулировать как закон сохранения потока импульса: *внешний поток импульса к первому телу от второго тела равен собственному потоку импульса из второго тела (короче поток импульса к первому телу равен потоку импульса из второго тела) или как закон равенства сил: внешняя сила, действующая на первое тело со стороны второго тела, равна собственной силе второго тела (силе инерции второго тела).*

Поскольку собственная сила является одной из внутренних сил, то в соответствии с (20) её можно заменить внешней силой, и тогда ТЗН примет общеизвестный вид:

$$\vec{F}_{1 \leftarrow 2}^e = -\vec{F}_{2 \rightarrow 1}^e \quad (25)$$

Согласно этому выражению, ТЗН формулируется так: *сила, с которой второе тело действует на первое тело, равна и противоположна по направлению силе, с которой первое тело действует на второе тело.*

Мало кто отдаёт себе отчёт в том, что внешняя сила $\vec{F}_{2 \rightarrow 1}^e$ (внешний поток импульса), направленная от тела 1 к телу 2, не характеризует реальный перенос движения от 1-го тела ко 2-му (перенос движения осуществляется из 2-го тела к 1-му) и поэтому будет мнимой, псевдосилой или псевдопотоком импульса. Реальной же силой (реальным потоком импульса) является собственная сила (сила инерции) $\vec{F}_{2 \rightarrow 1}^{\text{соб}} = \vec{F}_{\text{ин}2}$, поскольку она характеризует реальный поток движения из 2-го тела к 1-му. Однако в

физике, как раз наоборот, силу инерции (собственную силу) $\vec{F}_{2 \rightarrow 1}^{\text{ин}} = \vec{F}_{\text{и}2}$ считают псевдосилой, а силу $\vec{F}_{2 \rightarrow 1}^{\text{е}}$ – реально действующей силой на тело 2 со стороны тела 1.

В качестве аналога уравнения сохранения потоков импульса (24) можно привести уравнение сохранения потоков массы (плотности) для двух резервуаров:

$$dm_1/dt = m_{1 \rightarrow 2}^{\text{втек}} = -dm_2/dt = m_{2 \rightarrow 1}^{\text{вытек}}, \text{ или } m_{1 \rightarrow 2}^{\text{втек}} = m_{2 \rightarrow 1}^{\text{вытек}} \quad (26)$$

Согласно этим уравнениям, *расход жидкости, вытекающей в 1-й резервуар из 2-го, равен расходу жидкости, вытекающей из 2-го резервуара.* Уравнению (26) можно придать вид (25), если ввести псевдопоток массы жидкости, втекающей во 2-й резервуар из 1-го,

$$m_{1 \rightarrow 2}^{\text{втек}} = -m_{2 \rightarrow 1}^{\text{втек}}.$$

Согласно этому соотношению, закон сохранения массы для двух резервуаров можно сформулировать и так: *поток массы вытекающей жидкости в 1-й резервуар из 2-го равен потоку массы, втекающему во 2-й резервуар из 1-го, но взятый с противоположным знаком.* Надуманность такого определения закона сохранения массы очевидна и, естественно, лишена смысла в механике жидкости.

При трении или неупругом соударении (деформации) происходит преобразование (диссипация) УД в хаотическое движение (ХД), что характеризуется нагревом взаимодействующих тел. Пусть при неупругом соударении двух тел, т.е. при деформации этих тел, первое тело получает импульс от второго тела и его импульс увеличивается, а импульс второго тела уменьшается.

Изменение импульса 2-го тела $-d\vec{K}_2$ будет складываться из импульса движения, переданного к 1-му телу $\delta\vec{K}_{1 \rightarrow 2}^{\text{е}}$, и импульса диссипированного движения (преобразованного в ХД, нагрев) в ходе деформации 2-го тела $\delta\vec{K}_{\text{дис}2}$.

$$d\vec{K}_2 = \delta\vec{K}_{1 \rightarrow 2}^{\text{е}} + \delta\vec{K}_{\text{дис}2} \quad (27)$$

Изменение импульса подведённого движения к 1-му телу $\delta\vec{K}_{1 \rightarrow 2}^{\text{е}}$ будет складываться из изменения импульса этого тела $d\vec{K}_1$ и импульса диссипированного движения $\delta\vec{K}_{\text{дис}1}$ в ходе деформации 1-го тела.

$$\delta\vec{K}_{1 \rightarrow 2}^{\text{е}} = d\vec{K}_1 + \delta\vec{K}_{\text{дис}1} \quad (28)$$

Заметим, что вектор импульса диссипированного движения $\delta\vec{K}_{\text{дис}}$ характеризует часть отданного или полученного упорядоченного движения, направление его совпадает с направлением импульса пере-

данного движения $\delta\vec{K}_{1-2}^c$), преобразованного в хаотическое движение, а не само ХД или его приращение в системе, которое не имеет направления в пространстве.

Складывая (27) и (28), получим:

$$-d\vec{K}_1 - d\vec{K}_2 = -d(\vec{K}_1 + \vec{K}_2) = -d\vec{K}_{\text{свет}} = \delta\vec{K}_{\text{дис1}} + \delta\vec{K}_{\text{дис2}},$$

или
$$-d\vec{K}_{\text{свет}} = \delta\vec{K}_{\text{дис}} \quad (29)$$

В соответствии с (29) при деформационном взаимодействии двух тел закон сохранения импульса не выполняется: *убыль импульса системы нескольких взаимодействующих тел равна суммарному импульсу диссипированного движения в этих телах (превращённого в хаотическое движение).*

Если разделить все члены уравнений (27) и (28) на dt , то получим:

$$-d\vec{K}_2 / dt = \vec{F}_{1-2}^c + \vec{F}_{\text{дис2}} = -\vec{F}_{2-1}^c + \vec{F}_{\text{дис2}},$$

или
$$d\vec{K}_2 / dt = \vec{F}_{2-1}^c - \vec{F}_{\text{дис2}} \quad (30)$$

и
$$\vec{F}_{1-2}^c = d\vec{K}_1 / dt + \vec{F}_{\text{дис1}} \quad (31)$$

Опуская индексы в уравнениях (30) и (31), их можно обобщить так:

$$\vec{F} = \vec{F}^c = d\vec{K} / dt + \vec{F}_{\text{дис}}, \quad (32)$$

$$d\vec{K} / dt = \vec{F}_{\text{рез}} - \vec{F}_{\text{дис}} \quad (33)$$

Уравнения (32) и (33) являются обобщением ВЗН (1) на случай диссипации УД в теле. Согласно уравнению (33) ВЗН в общем случае можно сформулировать так: *скорость изменения импульса тела равна разности внешнего результирующего потока импульса и диссипированного потока импульса внутри тела (разности внешней результирующей силы и силы диссипации).* В общем случае в состав результирующей силы может входить и сила трения, направленная навстречу перемещению тела.

В качестве аналога диссипации УД внутри тела, уменьшающей импульс тела помимо отвода импульса в окружающую среду, можно привести конденсацию пара в резервуаре, дополнительно уменьшающую массу пара в резервуаре помимо его отвода через трубы. Балансовое соотношение для изменения массы пара внутри резервуара в этом случае имеет вид

$$dm = \delta m_{\text{вх}} + \delta m_{\text{впх}} + \delta m_{\text{конд}} = \delta m_{\text{вх}} + \delta m_{\text{впх}} - |\delta m_{\text{конд}}|.$$

Разделив все величины на время dt , перейдём от баланса масс к балансу массовых расходов

$$dm / dt = \delta m_{\text{вх}} / dt + \delta m_{\text{впх}} / dt - |\delta m_{\text{конд}} / dt| = m_{t_{\text{рез}}} - |m_{t_{\text{конд}}}| \quad (34)$$

Уравнение (34) аналогично уравнению (33) и его можно интерпретировать так: *скорость изменения массы пара внутри резервуара равна разности между результирующим (суммарным) потоком массы пара, входящего в резервуар и выходящего из него по трубам, и потоком массы пара, конденсирующегося в жидкость.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Рылов В. В. Новая интерпретация понятия силы и законов движения Ньютона // Вестник Павлодарского университета. – 2000. № 2. – С. 163–177
2. Рылов В. В. Использование гидротермодинамической аналогии для пояснения обмена теплоты, работы, энергии // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений). – 1991. № 8. – С. 78–82.
3. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа: Учеб. для вузов. – М.: Наука, 1973. – 848 с., ил.
4. Гуров К. П. Феноменологическая термодинамика необратимых процессов (физические основы). – М.: Наука, 1978. – 128 с.
5. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – 608 с., ил.

УДК 66.021.2

ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ $\text{NdM}^{\text{I}}\text{M}^{\text{II}}\text{Mn}_2\text{O}_6$ (M^{I} – Li, Na, K, Cs; M^{II} – Mg, Ca, Sr, Ba)

М.А. Исабаева

Павлодарский государственный университет
им. С. Торайгырова

А. Нухулы

Многопрофильный гуманитарно-технический университет,
г. Караганда

Б.К. Касенов, Ж.И. Сагинтаева, Ш.Б. Касенова

Институт фитохимии МОН РК, г. Караганда

Ландия әдісі арқылы $\text{NdM}^{\text{I}}\text{M}^{\text{II}}\text{Mn}_2\text{O}_6$ (M^{I} – Li, Na, K, Cs; M^{II} – Mg, Ca, Sr, Ba) манганиттерінің жылу сыйымдылықтарының температуралық тәуелділігі есептеледі.

Методом Ландия вычислены температурные зависимости теплоемкостей манганитов $\text{NdM}^{\text{I}}\text{M}^{\text{II}}\text{Mn}_2\text{O}_6$ (M^{I} – Li, Na, K, Cs; M^{II} – Mg, Ca, Sr, Ba).

The Landia method was used to calculate the temperature dependence of heat capacities of manganites $\text{NdM}^{\text{I}}\text{M}^{\text{II}}\text{Mn}_2\text{O}_6$ (M^{I} – Li, Na, K, Cs; M^{II} – Mg, Ca, Sr, Ba).

Возрастающее внедрение электронной техники в различные отрасли народного хозяйства выдвигает в качестве первоочередной научной задачи поиск новых разнообразных неорганических материалов с перспективными электрофизическими свойствами и их углубленное физико-химическое изучение.

Манганиты или твердые растворы $\text{A}_2\text{Mn}_2\text{O}_6$ (A – Mg, Al, Zr) представляют собой довольно специфические объекты. Тетрагональное искажение кристаллической решетки при этом вызвано кооперативным эффектом Яна-Теллера и связано с электронной структурой иона

валентного марганца в октаэдрических позициях решетки шпинели [1]. Системы, состоящие из оксидов р.з.э., щелочных, щелочноземельных металлов и марганца (III) имеют большое значение для неорганического синтеза и образующиеся манганиты могут обладать уникальными физико-химическими свойствами.

В работах [2-4] нами синтезированы и исследованы рентгенографически характеристики соединений $\text{LaCsM}^{\text{I}}\text{Mn}_2\text{O}_6$ ($\text{M}^{\text{I}} - \text{Mg, Ca, Sr, Ba}$) и $\text{NdM}^{\text{I}}\text{M}^{\text{II}}\text{Mn}_2\text{O}_6$ ($\text{M}^{\text{I}} - \text{Li, Na, K, Cs}$).

Следует подчеркнуть, что для направленного синтеза манганитов с заданными свойствами имеет важное значение исследование их термодинамических свойств. В данной работе приводятся результаты расчета температурных зависимостей теплоемкостей манганитов состава $\text{M}^{\text{I}}\text{M}^{\text{II}}\text{Mn}_2\text{O}_6$, где $\text{M}^{\text{I}} - \text{Li, Na, K, Cs}$; $\text{M}^{\text{II}} - \text{Mg, Ca, Sr, Ba}$.

Расчет высокотемпературных значений теплоемкостей манганитов выполнен по схеме Ландя [5]. Необходимые данные для расчета значений $S^{\circ}(298,15)$ $\text{NdM}^{\text{I}}\text{M}^{\text{II}}\text{Mn}_2\text{O}_6$ рассчитаны с использованием системы стандартных энтропийных инкрементов [6] по схеме:

Таблица
Стандартные энтропии и уравнения температурных зависимостей теплоемкостей манганитов

№ Манганит	$S^{\circ}(298,15)$, Дж/(моль К)	$C_p^{\circ}(298,15)$, Дж/(моль К)	Коэффициенты уравнения, $C_p^{\circ} = a + bT + cT^{-2}$, Дж/(моль К)			ΔT, К
			a	b $\cdot 10^{-3}$	c $\cdot 10^5$	
3	4	5	6	7	8	
$\text{LaMg}_2\text{Mn}_2\text{O}_6$	218,8	221,2	278,0	31,0	58,39	298,15-1065
$\text{LaCa}_2\text{Mn}_2\text{O}_6$	238,9	224,8	227,7	65,36	19,90	298,15-976
$\text{LaSr}_2\text{Mn}_2\text{O}_6$	251,5	227,1	229,5	65,5	19,53	298,15-927
$\text{LaBa}_2\text{Mn}_2\text{O}_6$	271,9	229,6	227,7	70,8	16,80	298,15-857
$\text{NdLiMn}_2\text{O}_6$	234,3	224,3	231,1	60,8	22,13	298,15-995
$\text{NdNaMn}_2\text{O}_6$	254,4	227,5	229,0	66,7	19,00	298,15-916
NdKMn_2O_6	267,0	229,4	304,2	29,5	58,58	298,15-873
$\text{NdCsMn}_2\text{O}_6$	287,4	231,8	226,3	74,9	14,90	298,15-811
$\text{NdMgMn}_2\text{O}_6$	245,3	225,9	229,8	63,6	20,31	298,15-950
$\text{NdCaMn}_2\text{O}_6$	265,0	228,8	229,9	66,8	18,60	298,15-878
$\text{NdSrMn}_2\text{O}_6$	278,0	229,9	218,4	83,9	11,95	298,15-839
$\text{NdBaMn}_2\text{O}_6$	298,0	232,5	24,6	309,5	-102,70	298,15-781
$\text{NdLiMn}_2\text{O}_6$	256,0	227,5	235,5	36,3	16,72	298,15-912
$\text{NdNaMn}_2\text{O}_6$	276,0	230,2	227,1	71,9	16,30	298,15-845
NdKMn_2O_6	289,0	231,9	235,8	33,7	12,46	298,15-807
$\text{NdCsMn}_2\text{O}_6$	309,0	234,1	234,9	35,5	10,03	298,15-754

$$S^{\circ}(298,15)\text{LnM}^{\text{I}}\text{M}^{\text{II}}\text{Mn}_2\text{O}_6 = S^{\circ}(298,15)\text{Ln}^{3+} + S^{\circ}(298,15)\text{M}^{\text{I}} + S^{\circ}(298,15)\text{M}^{\text{II}} + \\ + 2S^{\circ}(298,15)\text{Mn}^{2+} + 6S^{\circ}(298,15)\text{O}^{2-}. \quad (1)$$

В табл. приведены вычисленные значения стандартных энтропий манганитов.

О корректности результатов исследований можно сказать следующее. В работах [7, 8] экспериментальным методом определены стандартные теплоемкости $\text{LaNaCaMn}_2\text{O}_6$ и $\text{LaKCaMn}_2\text{O}_6$, равные соответственно $229,0 \pm 9,0$ и $233,0 \pm 6,0$ Дж/(моль К), которые неплохо согласуются с расчетными значениями $C_p^{\circ}(298,15)$ $\text{NdNaCaMn}_2\text{O}_6$ ($227,5$ Дж/(моль К)) и $\text{NdKCaMn}_2\text{O}_6$ ($229,4$ Дж/(моль К)).

Таким образом, впервые вычислены температурные зависимости теплоемкости манганитов состава $\text{NdM}^{\text{I}}\text{M}^{\text{II}}\text{Mn}_2\text{O}_6$ ($\text{M}^{\text{I}} - \text{Li, Na, K, Cs}$; $\text{M}^{\text{II}} - \text{Mg, Ca, Sr, Ba}$). Результаты исследований имеют теоретическое и практическое значение для физико-химического моделирования направленного синтеза манганитов с заданными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Балакирев В.Ф., Бархатов В.П., Голыков Ю.М., Майзель О.Г. Манганиты: равновесные и нестабильные состояния. – 2000. – Екатеринбург, 308с.
- 2 Касенов Б.К., Мустафин Е.С., Касенова Ш.Б., Едильбаева С.Т., Жумадилов Е.К., Бектурганов Ж.С. Синтез манганитов состава $\text{LaCsMeMn}_2\text{O}_6$ ($\text{Me} - \text{Mg, Ca, Sr, Ba}$) // Журнал неорганической химии. – 2003. – Т.48. – №5. – С.765-769.
- 3 Мустафин Е.С., Исабаева М.А., Касенов Б.К., Нухулы А., Сагитбаева Ж.А., Бектурганов Ж.С., Жумадилов Е.К. Рентгенографическое исследование манганитов $\text{NdMe}^{\text{I}}\text{CaMn}_2\text{O}_6$ ($\text{Me}^{\text{I}} - \text{Li, Na, K, Cs}$) // Наука и техника Казахстана. – 2003. – №3. – С.23-27
- 4 Мустафин Е.С., Едильбаева С.Т., Жумадилов Е.К., Бектурганов Ж.С., Касенов Б.К., Бухарицын В.О. Рентгенографический анализ манганита $\text{DyLiMgMn}_2\text{O}_6$ // Материалы международной научно-практической конференции «Этапы становления, современное состояние и фундаментальные проблемы развития образования науки Казахстана». – Караганда, 2003. – С.176-177
- 5 Ландия Н.А. Расчет высокотемпературных теплоемкостей твердых неорганических веществ по стандартным энтропиям. – Тбилизи: Изд-во АН Груз.ССР, 1985. – 222 с.
- 6 Кумок В.Н. Проблема согласования методов оценки термодинамических характеристик // В сб.: Прямые и обратные задачи химической термодинамики. – Новосибирск: Наука, 1987. – С.108-123.
- 7 Бектурганов Ж.С., Мустафин Е.С., Касенов Б.К., Балмагамбетова Л.Т., Жумадилов Е.К. Рентгенографическое и термодинамическое исследование $\text{LaCaNaMn}_2\text{O}_6$ // Вестник Евразийского университета. – 1998. – №3-4. – С.76-80.
- 8 Касенов Б.К., Бектурганов Ж.С., Мустафин Е.С., Едильбаева С.Т., Жумадилов Е.К. Рентгенографическое и термодинамическое исследование $\text{LaCaKMn}_2\text{O}_6$ // Вестник КазГУ Серия химическая. – 1999. – №2. – С.40-44.

УДК 543.55

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НОВОГО КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКОГО НИЗКОЧАСТОТНОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ВЕЩЕСТВ

А.А. Липчанский

Северо-Казахстанский государственный университет
д-р М.Козыбаева, г. Петропавловск

Мақалада кондуктометриялық ұяның поляризациялық қарсылық кәсіміні графикалық анықтау мәселесі қарастырылады.

Рассмотрены вопросы определения графическим методом величины поляриционного сопротивления кондуктометрической ячейки.

Experimental investigation of new conductometric low – frequency and high – frequency methods of substance analysis.

Для реализации низкочастотного мостового метода изготовили экспериментальную установку, состоящую из мостовой измерительной схемы и низкочастотного блока питания (рисунок 1). В свою очередь мостовая измерительная схема составлена из двух постоянных резисторов $R_1 = R_2 = 100$ Ом, включенных в правое верхнее и нижнее плечо, мостовых сопротивлений R_{33} и кондуктометрической ячейки с сопротивлением R , включенных в соответственно левые нижнее и верхнее плечи. В измерительную диагональ мостовой схемы включен миллиамперметр Д-4514, на другую диагональ поступает напряжение питания от низкочастотного блока питания. Величина напряжения питания (2–5) В устанавливается при помощи блока питания, исходя из обеспечения нормальной работы измерительной ячейки. Кондуктометрическая ячейка изготовлена в виде цилиндрического сосуда с диэлектрическими стенками из стекла внутренним диаметром 14 мм. На поверхности стеклянного цилиндра по его высоте нанесены риски через 5 мм. В нижней и верхней части цилиндрического сосуда в плоскости, перпендикулярной стенкам, размещаются круглые плоские электроды из нержавеющей

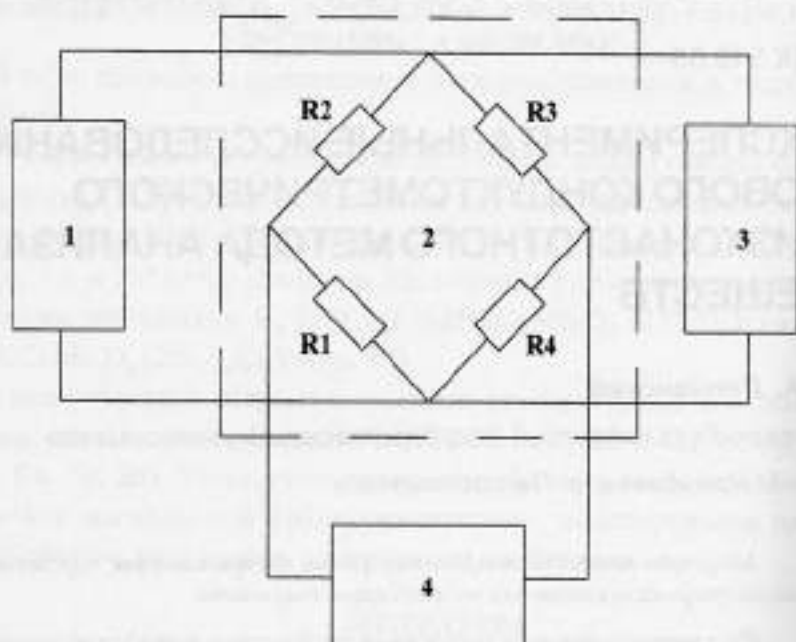


Рис.1. Блок-схема измерительной установки для экспериментальных исследований модернизированного низкочастотного метода анализа вещества:

**1 – низкочастотный блок питания; 2 – мостовая измерительная схема;
3 – вольтметр В7-41; 4 – милливольтметр Ц 4314.**

щей стали с диаметром, соответствующим внутреннему диаметру цилиндра. При этом нижний электрод устанавливался неподвижно, а верхний электрод, посредством направляющей, имел возможность перемещаться в вертикальном направлении с установкой заданного межэлектродного расстояния относительно нижнего электрода. С помощью соединительных проводов кондуктометрическая ячейка, закрепленная штангами на штативе, подключилась к верхнему левому плечу мостовой измерительной схемы.

Методика экспериментальных исследований заключалась в следующем: с помощью измерительной бюретки и аналитических весов представлялись в отдельных пронумерованных колбах пробы растворов анализируемого вещества заданной концентрации. В качестве такого вещества был выбран хлористый калий, электропроводность которого известна с большой точностью. Определение сопротивления раствора хлористого калия осуществляли начиная с раствора с наименьшей концентрацией, которым и заполняли кондуктометрическую ячейку. После десяти-пятнадцати минутной выдержки раствора в ячейке, фиксиро-

лась температура раствора с помощью ртутного термометра; верхний электрод устанавливали на первоначальном минимальном расстоянии от нижнего электрода, равном 5 мм. Далее измерительная мостовая схема подключалась к блоку питания; контроль за величиной напряжения питания, подаваемого на мостовую схему, осуществлялся с помощью вольтметра В 7-41. Вращением галетных переключателей магазина сопротивлений осуществляли балансировку мостовой измерительной схемы до минимально возможной величины разбаланса, определяемой с помощью миллиамперметра при достижении минимальной величины тока измерительной диагонали моста. Далее по показаниям галетных переключателей магазина сопротивлений фиксировали величину подстроечного сопротивления, которое в этом случае принималось равным сопротивлению раствора кондуктометрической ячейки. Аналогичные измерения с тем же раствором хлористого калия проводили последовательно при увеличении межэлектродного расстояния до 50 мм с шагом в один сантиметр. По полученным значениям сопротивления определялось уравнение зависимости сопротивления как функции от межэлектродного расстояния вида:

$$R_x = a + bx, \quad (1)$$

где a – свободный член, который будет определяться сопротивлением, связанным с поляризационными эффектами.

bx – сопротивление раствора.

Сопротивление раствора, выраженное через удельное сопротивление, может быть найдено из выражения:

$$R = c \cdot L/S, \quad (2)$$

где c – удельное сопротивление раствора,

L – межэлектродное расстояние;

S – площадь электрода.

Определив истинное сопротивление раствора из уравнения (1) величину удельного сопротивления, с учетом погрешности от поляризационных явлений, можно рассчитать с учетом уравнения (2) из простого выражения:

$$c = b S \quad (3)$$

Используя геометрические характеристики кондуктометрической ячейки и значения коэффициента «а» уравнения (1) по уравнению (3) определялось удельное сопротивление каждого из анализируемых растворов хлористого калия. Результаты экспериментальных исследований анализируемых растворов представлены в таблице 1 и рисунке 2.

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований низкочастотного кондуктометрического метода с моделями растворами хлористого калия при температуре 200°C

Концентрация моль/л	Расстояние, 10^{-2} м	Напряжение питания, В	Напряжение разбаланса, В	Сопротивление ячейки, Ом	Уравнение зависимости вида (1)	Удельное сопротивление, Ом см	Кэф-фициент корреляции	Рис-хож %
1,0	0,5	2,0	0,18	47,0	$y = 43,342x - 6,383x$	9,822	0,997	0,25
	0,1	2,1	0,17	50,0				
	2,0	2,3	0,16	56,0				
	3,0	2,3	0,15	61,0				
	4,0	2,5	0,15	69,0				
	5,0	2,6	0,14	76,0				
0,1	0,5	3,0	0,18	120,0	$y = 90,0x + 60,0x$	92,32	1,00	7,17
	1,0	3,2	0,16	130,0				
	2,0	3,5	0,13	210,0				
	3,0	3,6	0,11	270,0				
	4,0	3,6	0,10	330,0				
	5,0	3,8	0,09	390,0				
0,02	0,5	3,4	0,14	160,0	$y = 148,329x + 245,81x$	378,2	0,99	5,3
	1,0	3,8	0,10	400,0				
	2,0	4,1	0,07	640,0				
	3,0	4,2	0,06	900,0				
	4,0	4,2	0,05	1130,0				
	5,0	4,2	0,04	1370,0				

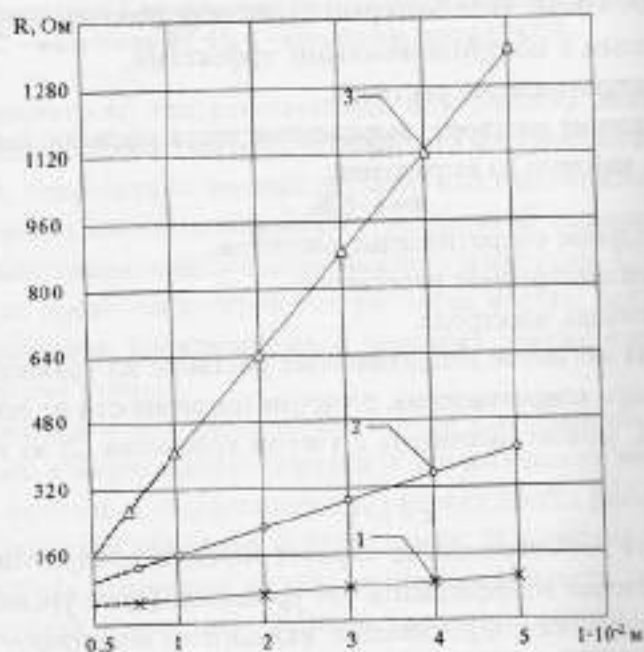


Рис. 2 График зависимости сопротивления кондуктометрической ячейки раствором КСl от межэлектродного расстояния на частоте 50 Гц:
1 – C = 1,0 моль/л; 2 – C = 0,1 моль/л; 3 – C = 0,02 моль/л

Сходство результатов экспериментальных исследований показывает их близость с табличными данными [2, 3], вплоть до концентрации растворов хлористого калия 0,02 моль/л.

Следующий этап экспериментальных исследований преследовал цель проверки теоретических предпосылок о независимости результата измерения от состояния поверхности электродной системы. Для этого в течение полугода осуществляли экспериментальное определение удельного сопротивления стандартных растворов хлористого калия в течение полугода осуществляли экспериментальное определение удельного сопротивления стандартных растворов хлористого калия, не предпринимая никаких специальных мер по подготовке электродов к экспериментальным исследованиям. Результаты экспериментальных исследований, проведенных повторно при различных температурах, приведены в таблице 2. Нетрудно заметить их полную качественную близость в определении удельного сопротивления с результатами экспериментальных исследований, приведенных в таблице 1. Вместе с тем обращает внимание значительное различие коэффициентов уравнения зависимости сопротивления кондуктометрической ячейки от межэлектродного расстояния, приведенных в таблицах 1 и 2, отнесенных к раствору хлористого калия одинаковой концентрации и температуры. Это различие в значениях коэффициентов функциональной зависимости сопротивления от межэлектродного расстояния позволяет сделать вывод о возможности использования модернизированного метода анализа не только в целях определения удельного сопротивления, но и для оценки влияния различных факторов на приэлектродные процессы. Действительно, так как модернизированный метод позволяет определить истинное (омическое) сопротивление ячейки, то разность между измеренным сопротивлением и истинным позволяет в коли-

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований низкочастотного кондуктометрического метода с раствором хлористого калия в зависимости от температуры

Температура, °С	Уравнение зависимости сопротивления от межэлектродного расстояния вида (1)	Коэффициент корреляции, r	Удельное сопротивление, Ом/см	Табличное значение удельного сопротивл., Ом см	Расхождение табличных и экспериментальных данных, %
20	$y = 77,7 + 6,34x$	0,99	9,75	9,82	0,71
30	$y = 134,66 + 53,2x$	0,99	81,87	85,69	4,45
40	$y = 20,4 + 5,63x$	0,99	8,67	8,94	3,01
50	$y = 33,99 + 47,66x$	0,99	73,40	77,6	5,41
60	$y = 19,06 + 6,91x$	0,99	10,64	10,81	1,57
70	$y = 91,07 + 62,37x$	0,99	95,97	95,42	0,57

чественном выражении определить величину поляризационного сопротивления, определяющего и Э.Д.С. поляризационных эффектов. Для разработки методики экспериментального определения поляризационного сопротивления модернизированного методом анализа веществ привлекательно к задаче, предварительно остановимся на известных результатах исследований величины напряжения поляризации от различных факторов. Как отмечается в работе [4], поляризационное напряжение изменяется с уменьшением плотности переменного тока, а также с увеличением концентрации раствора и частоты переменного тока. В работе [5] зависимость величины напряжения поляризации от плотности тока подтверждается лишь для небольших значений последнего. Там же утверждается, что при некоторых, достаточно больших плотностях тока, величина напряжения поляризации зависит лишь от сочетания материала электрода и электролита. Для этого случая величину напряжения поляризации предлагается определять с помощью следующего выражения:

$$\Delta U = J \cdot x_c = \frac{J}{\omega C},$$

где x_c – поляризационное сопротивление;

J – ток, протекающий через ячейку;

ω – круговая частота,

C – емкость эквивалентной схемы замещения вещества.

Таким образом, методика определения удельного электросопротивления раствора модернизированным мостовым методом анализа вещества должна включать установление зависимости поляризационного сопротивления от концентрации и величины плотности тока, протекающего через ячейку, а также от состояния поверхности электрода и свойств электролита. Поскольку в качестве материала электрода предлагается использование в основном нержавеющей стали, как наиболее доступного и отвечающего условиям работы гальванического источника, ограничимся установлением зависимости удельного электросопротивления от концентрации, физических свойств вещества и плотности тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоскин И.М., Крючков В.П. Физико-технические основы влагомера. - Киев: Техника, 1974. - 308 с.
 2. Краткий справочник физико-химических величин. - Л.: Химия, 1966. - 221 с.
 3. Давыдов Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин. - Л.: Энергоатомиздат, 1983. - 320 с.
 4. Гельштам И.М. Электрическое моделирование. - М.: Физматгиз, 1966. - 229 с.
 5. Лаврентьев А.А. Теория электромагнитных волн. - М.: МГУ, 1962. - 201 с.
-

УДК 536:53

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ АНАЛОГИИ ДЛЯ ПОЯСНЕНИЯ СМЫСЛА ТЕПЛОЁМКОСТИ

В.В. Рындин, Д.В. Рындина

*Павлодарский государственный университет**им. С. Торайгырова*

Мақалада жүйенің ішкі энергиясының өзгертулерінің және резервуардағы су көлемінің, айқын изохорлық жылу сыйымдылықтың және резервуардың қалың қабатының ауданының, политроптық үрдісінің жылу сыйымдылығының және шартты резервуардың ауданының арасындағы аналогиясы көрсетіледі.

Проводится аналогия между изменениями внутренней энергии системы и объёма воды в резервуаре, истинной изохорной теплоёмкостью и площадью поперечного сечения резервуара, теплоёмкостью политропного процесса и площадью условного резервуара.

The analogy between changes of an internal energy of a system and water volume in the reservoir, of a true isochoric heat capacity and area of cross section of the reservoir, of a heat capacity of a polytropic process and area of the conditional reservoir is conducted.

Объяснительная функция аналогии существенна для развития науки. Однако особенно большое значение объяснительная функция аналогии имеет в процессе преподавания. Значение аналогии для понимания нового обусловлено тем, что модель выбирается обычно среди наиболее знакомых, привычных, «понятных явлений». Имея чувственно-наглядное представление об исследуемом объекте, становится возможным не только оперировать математической символикой, но и мыслить «физически». Как писал Г.А. Лоренц, аналогии помогают нам думать о явлениях и могут явиться источником идей для новых исследований.

В качестве примера таких аналогий, позволяющих «мыслить физически», можно привести гидротермодинамическую аналогию, использованную в работе [1] для объяснения смысла таких понятий термодинами-

как «теплота», «работа», «энергия», а также гидромеханическую аналогию, использованную в работе [2] для пояснения смысла силы и закона Ньютона.

В данной работе для пояснения смысла истинной и средней теплоёмкости идеального газа также использована гидротермодинамическая аналогия. В этой аналогии в качестве аналога термодинамической системы берётся резервуар с водой (рисунок 1). Пусть резервуар 1 имеет переменное по высоте поперечное сечение площадью $A = f(H)$. Если стенки сосуда непрозрачны, то уровень H воды (высоту стояния воды) можно определить с помощью водомерной трубки 2 (уровнемера).

Аналогом уровнемера является термометр 3, измеряющий температуру T , которая в свою очередь является аналогом высоты H : $T \leftrightarrow H$.

Объём воды V , характеризующий запас воды в резервуаре, является аналогом внутренней энергии, характеризующей запас ХД в системе: $V \leftrightarrow U$.

На основании формального сходства выражений для расчёта изменения внутренней энергии

$$dU = C_v dT$$

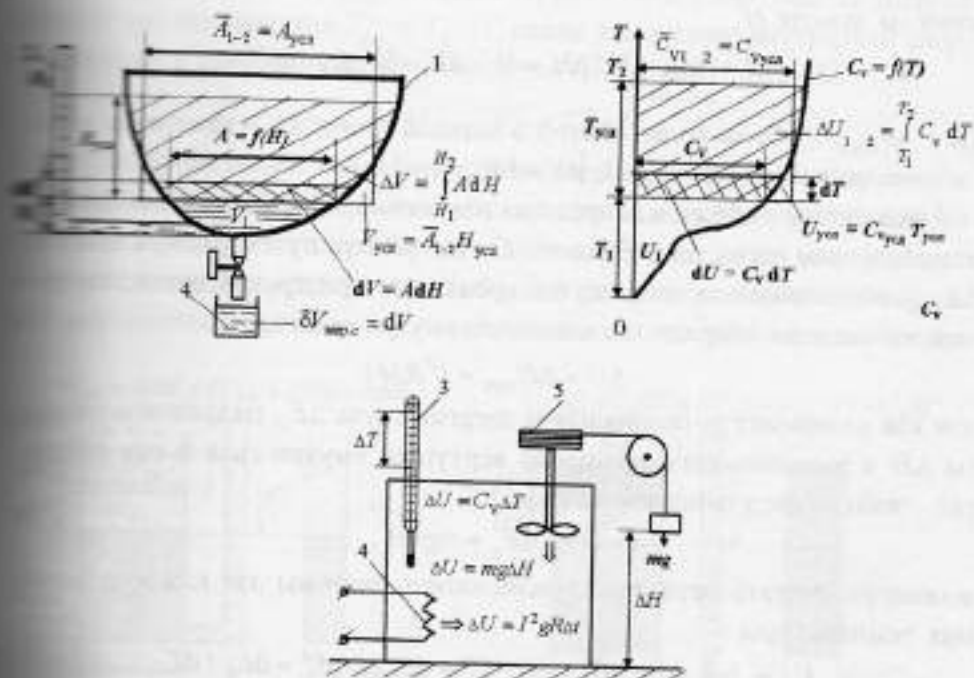


Рис. 1.

и известная объёма воды в резервуаре

$$dV = AdH$$

можно провести аналогию между изохорной теплоёмкостью C_v системы и площадью поперечного сечения резервуара A . $C_v \Leftrightarrow A$

Подобно тому, как для расчёта изменения объёма воды в резервуаре при изменении уровня воды в нём нужно знать зависимость площади A от высоты H , так и для расчёта изменения ВЭ нужно заранее знать зависимость теплоёмкости от температуры, т. е. как для каждого резервуара нужно знать зависимость $A = f(H)$, так и для каждой термодинамической системы нужно знать зависимость $C_v = f(T)$ в виде таблиц и графиков (возможная температурная зависимость теплоёмкости C_v от температуры представлена на рисунке 1). Такие зависимости для каждого резервуара и системы можно определить опытным путём.

В случае резервуара произвольной формы его поперечное сечение на любой высоте H можно определить по изменению объёма ΔV , сливая воду в мерный сосуд 4. Чем меньше при этом будет изменяться уровень воды, тем точнее мы определим площадь сечения резервуара на высоте H . При $\Delta H \rightarrow 0$, мы получим действительное (истинное) значение площади сечения на высоте H :

$$A = \lim_{\Delta H \rightarrow 0} \Delta V / \Delta H = dV / dH = \delta V_{\text{мер.с}} / dH,$$

где $\delta V_{\text{мер.с}}$ объём воды, слитой в мерный сосуд; dV – изменение объёма воды в резервуаре 1 ($dV = \delta V_{\text{мер.с}}$).

Аналогичным образом, определяя изменение ВЭ ΔU каким-либо иным способом, чем через теплоёмкость C_v , например, путём расчёта энергии $\Delta E_{\text{элек}}$, выделяемой за промежуток времени Δt при прохождении электрического тока по спирали, помещённой внутрь системы,

$$\Delta U = \Delta E_{\text{элек}} = I^2 R \Delta t;$$

или как изменение потенциальной энергии груза ΔE_p , падающего с высоты ΔH и вызывающего вращение вертушки внутри газа и как результат – изменение температуры газа ΔT ,

$$\Delta U = \Delta E_p = mg \Delta H,$$

можно рассчитать истинную теплоёмкость системы для каждого значения температуры

$$C_v = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \Delta U / \Delta T = dU / dT = dE_{\text{элек}} / dT = dE_p / dT$$

и составить соответствующие таблицы (что и сделано для удельных теплоёмкостей большого числа известных веществ).

Изменение объёма воды в резервуаре и внутренней энергии (включая движение) системы можно определить соответственно по формулам площади \bar{A}_{1-2} и средней теплоёмкости \bar{C}_{V1-2} по формулам (1) и (2):

$$\Delta V_{1-2} = \int_{H_1}^{H_2} A dH = \bar{A}_{1-2} (H_2 - H_1);$$

$$\Delta U_{1-2} = \int_{T_1}^{T_2} C_v dT = \bar{C}_{v1-2} (T_2 - T_1).$$

Площадь \bar{A}_{1-2} в интервале высот от H_1 до H_2 (см. рисунок 1) можно представить как площадь основания условного резервуара постоянного поперечного сечения ($A_{\text{усл}} = \text{const}$), объём которого при высоте $H_{\text{усл}} = H_2 - H_1$ равен изменению объёма рассматриваемого резервуара в рассматриваемом сечении ($V_{\text{усл}} = \Delta V_{\text{рез}} = \Delta V_{1-2}$).

$$\bar{A}_{1-2} = A_{\text{усл}} = \Delta V_{1-2} / (H_2 - H_1) = V_{\text{усл}} / H_{\text{усл}}.$$

Аналогичным образом, средняя теплоёмкость \bar{C}_{V1-2} в интервале температур от T_1 до T_2 может рассматриваться как теплоёмкость условной системы с постоянной теплоёмкостью $C_{v \text{ усл}} = \text{const}$, внутренняя энергия которой при температуре $T_{\text{усл}} = T_2 - T_1$ равна изменению внутренней энергии системы с переменной теплоёмкостью ($U_{\text{усл}} = \Delta U_{\text{сист}} = \Delta U_{1-2}$).

$$\bar{C}_{V1-2} = C_{v \text{ усл}} = \Delta U_{1-2} / (T_2 - T_1) = U_{\text{усл}} / T_{\text{усл}}.$$

Для интерпретации теплоёмкости политропного процесса проведём аналогию между резервуаром в процессе его наполнения водой как по трубам (в процессе потокообмена), так и через открытую поверхность во время дождя (в процессе каплеобмена) и термодинамической системой, внутренняя энергия которой изменяется как за счёт совершения ра-

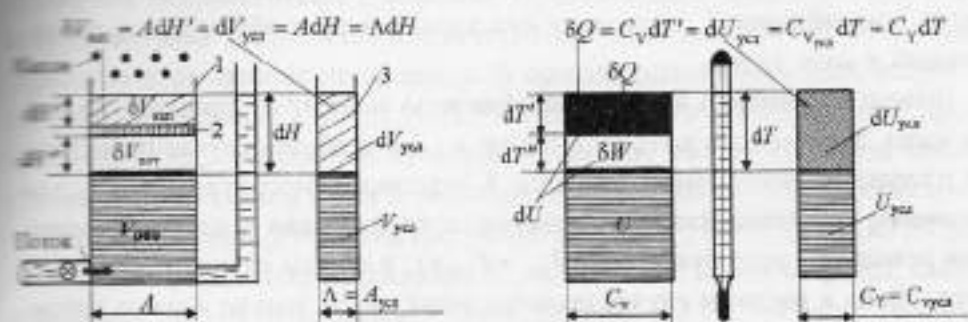


Рис. 2

боты, так и теплообмена. Для простоты изложения возьмём резервуар 1 постоянного по высоте поперечного сечения $A = \text{const}$ и термодинамическую систему с постоянной теплоёмкостью $C_v = \text{const}$ (рисунок 2).

Объём воды, поступившей в резервуар в виде капель дождя, можно определить через площадь его поперечного сечения A и изменение уровня воды в резервуаре только за счёт каплеобмена dH (выделить dH в полном изменении уровня жидкости dH можно с помощью лёгкого подвижного и плотно прилегающего к стенкам диска 2)

$$\delta V_{\text{кап}} = A dH' = k_{\text{кап}} A dH,$$

где $k_{\text{кап}} = \delta V_{\text{кап}} / dV_{\text{рез}} = dH' / dH$ – доля капель в полном изменении объёма воды в резервуаре.

Можно подобрать резервуар 3 (условный резервуар), в котором в результате только одного каплеобмена (дождя) изменение объёма воды $dV_{\text{усл}}$ равно объёму воды $\delta V_{\text{кап}}$, поступившей в исходный резервуар 1 в произвольном процессе (характеризуемом значением коэффициента $k_{\text{кап}}$) в результате дождя, при одинаковом изменении уровней воды в этих резервуарах,

$$dV_{\text{усл}} = \delta V_{\text{кап}} = k_{\text{кап}} A dH = A_{\text{усл}} dH = \Lambda dH,$$

где величина

$$\Lambda = \delta V_{\text{кап}} / dH = k_{\text{кап}} A = A_{\text{усл}},$$

позволяющая рассчитать объём капель в произвольном процессе по полному изменению уровня воды dH ,

$$\delta V_{\text{кап}} = \Lambda dH = A_{\text{усл}} dH$$

есть не что иное, как площадь поперечного сечения *условного резервуара* (в отличие от площади исходного резервуара 1), изменение объёма которого $dV_{\text{усл}}$ равно объёму воды $\delta V_{\text{кап}}$, поступившей в исходный резервуар в виде капель (дождя); величину $\Lambda = A_{\text{усл}}$ можно было бы называть “каплеёмкостью”, поскольку она характеризует объём воды, поступившей в виде капель.

Вывод: величина $\Lambda = A_{\text{усл}}$ (каплеёмкость) зависит от процесса подвода воды, задаваемого коэффициентом $k_{\text{кап}}$, и в общем случае не равняется площадью поперечного сечения A исходного резервуара, т. е. – это *условная, расчётная площадь*, которая, хотя и связана с площадью сечения исходного резервуара ($\Lambda = A_{\text{усл}} = k_{\text{кап}} A$), в общем случае ею не является. Лишь в частном случае подвода воды путём только одного каплеобмена (без подвода воды по трубам), когда $k_{\text{кап}} = 1$, каплеёмкость равна площади поперечного сечения исходного резервуара, $\Lambda = A_{\text{усл}} = A$.

Аналогичным образом, теплоту δQ можно рассчитать через изохорную теплоёмкость C_V и изменение температуры dT' , обусловленное лишь процессом теплообмена (выделить dT' опытным путём в полном изменении температуры dT системы, обусловленном совместными процессами теплообмена и совершения работы, не представляется возможным):

$$\delta Q = C_V dT' = k_Y C_V dT = C_Y dT ,$$

где $k_Y = \delta Q / dU = dT' / dT$ – доля теплоты в полном изменении внутренней энергии при протекании произвольного процесса (конкретизируя C_V , конкретизируем процесс: $Y = X = p, v, T = const$ – изопроцесс для реального и идеальных газов; $Y = n = const$ – политропный процесс для реального газа).

Можно подобрать термодинамическую систему (**условную систему**) для данного процесса, характеризуемого значением коэффициента k_Y , энергия ВЭ которой в изохорном процессе (за счёт только одного процесса теплообмена) будет равно подведённой теплоте к исходной системе в произвольном процессе (в общем случае, протекающем при совместном подводе тепла и работы) при том же изменении температуры dT :

$$dU_{\text{усл}} = C_{V_{\text{усл}}} dT = \delta Q = k_Y C_V dT = C_Y dT ,$$

$$C_{V_{\text{усл}}} = C_Y = \delta Q / dT$$

Следовательно, теплоёмкость C_Y произвольного процесса может быть интерпретирована как изохорная теплоёмкость $C_{V_{\text{усл}}}$ условной термодинамической системы (ТС), изменение ВЭ которой $dU_{\text{усл}}$ равно теплоте δQ , подводимой к исходной системе.

Площадь A является геометрической характеристикой резервуара – зависит от процесса подвода воды в резервуар, так и её аналога – теплоёмкость C_Y является термодинамической характеристикой (свойством) ТС (её значение зависит от числа молекул системы и их энергии и не зависит от процесса. В противоположность этим величинам теплоёмкость $\Lambda = A_{\text{усл}}$, так и теплоёмкость произвольного процесса $C_Y = C_{V_{\text{усл}}}$ зависят от процесса и поэтому уже не являются свойствами данных систем (хотя и связаны с ними), а лишь условных систем.

Иными словами, в понятия как каплеёмкости Λ , так и её аналога теплоёмкости произвольного процесса C_Y заложены, с одной стороны, свойства данных систем (резервуара – через площадь его поперечного сечения и термодинамической системы – через теплоёмкость C_V), а с другой стороны, вид процесса (подвода воды к резервуару – через коэффициент

$k_{\text{хит}} \Lambda = A_{\text{хит}} = k_{\text{хит}} A$ и подвода движения к термодинамической системе – через коэффициент k_V , $C_V = k_V C_v$).

Часто при определении смысла теплоёмкости её определяют как величину, численно равную теплоте, вызывающей изменение температуры тела на один градус. Это справедливо только для изохорной теплоёмкости. В общем же случае изменение температуры тела (системы) происходит как за счёт теплообмена, так и совершения работы: $dT = dT' + dT''$ (см. рисунок 2), поэтому формулировку следует уточнить так: *теплоёмкость произвольного процесса численно равна теплоте, которая совместно с работой изменяет температуру тела на один градус.*

Итак, в данной работе проведена аналогия между следующими величинами:

– изменениями внутренней энергии системы и объёма воды в резервуаре $dU = C_v dT \Leftrightarrow dV = AdH$,

– изменениями температуры системы и уровня (высоты) воды в резервуаре $dT \Leftrightarrow dH$,

– истинной изохорной теплоёмкостью системы при температуре T и площадью поперечного сечения резервуара при высоте H $C_v \Leftrightarrow A$,

– средней теплоёмкостью в интервале температур от T_1 до T_2 и средней площадью поперечного сечения резервуара в интервале высот от H_1 до H_2 $\bar{C}_{v_{1,2}} \Leftrightarrow \bar{A}_{1,2}$,

– теплотой и объёмом воды, поступившей в результате дождя (капельного обмена) $\delta Q = C_v dT' = k_v C_v dT = C_v dT \Leftrightarrow \delta V = AdH' = k_{\text{хит}} AdH = \Lambda dH$,

– долей теплоты в полном изменении внутренней энергии (в процессах теплообмена и совершения работы), конкретизирующей термодинамический процесс, и долей капель в полном изменении объёма воды в резервуаре $k_v = \delta Q / dU \Leftrightarrow k_{\text{хит}} = \delta V_{\text{хит}} / dV_{\text{пол}}$,

– теплоёмкостью произвольного процесса (изопротесса или полнотермического) и каплеёмкостью (площадью условного резервуара) $C_T = k_V C_V \Leftrightarrow \Lambda = k_{\text{хит}} A$

ЛИТЕРАТУРА

1. Рындли В.В. Использование гидротермодинамической аналогии для пояснения смысла теплоты, работы, энергии // Энергетика (Изв. высш. учеб. заведений). – 1995. – № 8. – С. 78–82.

2. Рындли В.В. Использование гидромеханической аналогии для пояснения смысла силы и законов Ньютона // Наука и техника Казахстана. – 2004. – №1. – С.

УДК 621.742.4

РАСЧЕТ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СМЕШИВАЮЩЕГО АППАРАТА С МЕШАЛКАМИ. ЧАСТЬ I

Т. Сабиров, Е. С. Абдрахманов

Павлодарский государственный университет
им. С. Торайгырова

Жұмыста жаңа типтегі араластырығын аппараттың (қондырғының) техникалық сипаттамасы мен жұмыс істеу принциптері баяндалған. Араластыру кезінде аппарат бағында пайда болатын ағындардың геометриясы талқыланған. Араластырығышқа конструкциялық өзгерістер енгізуге ұсыныстар айтылған.

В работе приведены технические характеристики смешительного аппарата нового типа и принципы его работы. Исследована геометрия потока жидкости, возникающий в баке аппарата во время его работы. Внесены предложения рационализаторского характера.

In work characteristics of the mixing device of new type and principles of its work are given. The geometry of a stream of the liquid, arising in a tank of the device is investigated during its work. Offers of rationalization character are brought.

Работа состоит из четырех частей. В первой части рассмотрены расчеты параметров смешительного аппарата.

Общие сведения об аппаратах с мешалками Для приведения в контакт таких систем, как «жидкость – газ», «жидкость – твердое вещество», «газ – твердое вещество», «газ – газ», «твердое вещество – твердое вещество» применяются различные аппараты химической технологии. В зависимости от рассматриваемой системы процессы контактирования называются *перемешиванием, фильтрованием, центрифугированием, грохочением, газоочисткой* и др. [1], [2].

В данной работе рассматривается система «Жидкость – твердое вещество» и, следовательно, *процесс перемешивания.*

Смеси твердых веществ и жидкостей перемешивают в аппаратах мешалками различных типов. В зависимости от физических свойств обрабатываемых веществ различают перемешивание **текучих сред** (ньютоновских и неньютоновских), **смешивание паст** и **смешивание сыпучих материалов** [1], [2].

Перемешивание представляет собой процесс многократного перемещения частиц текущей среды друг относительно друга во всем объеме аппарата, создаваемой механической мешалкой.

Промышленной практике для перемешивания используют, главным образом, вращающиеся механические мешалки различной конструкции.

По конструкции лопастей их подразделяют на **аксиальнопоточные** и **радиальнопоточные** механические мешалки [1, с. 116].

К **аксиальнопоточным** относятся все мешалки, у которых угол, составляемый лопастью с осью вала, меньше 90° (пропеллерные, турбинные, наклонно-лопастные).

К **радиальнопоточным** относятся все мешалки, лопасти которых параллельны оси вала. К этому типу относятся также якорные и рамные мешалки.

По производственным характеристикам мешалок делят [2] на

- **быстроходные** – пропеллерные, турбинные и другие, у которых окружная скорость концов лопастей порядка 10 м/сек , а отношение $D/d_m > 3$;
- **тихоходные** – якорные, рамные и иные, у которых, как правило, окружная скорость порядка 1 м/сек , а $D/d_m > 2$.

Здесь D – внутренний диаметр бака смесителя, а d_m – диаметр мешалки.

Однако единой системы классификации мешалок всех типов пока нет [1], хотя в [2] приведены другие способы классификации.

Аппараты могут отличаться друг от друга не только по выше указанным признакам, но и техническими характеристиками, такими как объемный расход, мощность, напор и др.

Таким образом, при необходимости выбора конструктивного типа аппарата с мешалкой неизбежно встает вопрос о количественных и качественных характеристиках, позволяющих объективно сопоставлять различные мешалки.

Очевидно, что, при одинаковом качестве перемешивания необходимо сравнивать **интенсивность** и/или **эффективность** работы мешалок.

Интенсивность характеризуется **частотой вращения** мешалок или **продолжительностью перемешивания**. Если при меньшей частоте вра-

...при максимальной продолжительности перемешивания достигается максимальный технологический результат, то работа мешалки считается оптимальной.

Эффективность определяется возможностью достижения заданного технологического качества при *минимальной затрате работы*.

Таким образом, в таких ситуациях вступают в силу законы механики: инерция более интенсивного действия оказывается менее эффективным средством. Следовательно, выбор того или иного типа мешалки должен основываться на таких позициях оптимизации производства.

Важным многообразии, ныне действующих производственных перемешивающих аппаратов [1], [2], существует нечто общее, присущее всем перемешивателям – проблема создания турбулентного потока в аппарате, который является важнейшим фактором интенсификации перемешивания жидкости и/или со средой. Следует отметить, что в работе [2] об этом прямо так и сказано: *Независимо от назначения аппарата основой его расчета должен быть гидродинамический расчет, дополненный по мере необходимости расчетами других*

На практике эту проблему старается решить путем *изменения геометрии лопастей* или *установкой отражательных перегородок* в рабочем объеме аппарата, а также:

- *установкой мешалки под углом со смещением от центра;*
- *эксцентрическим расположением мешалки на вертикальном валу;*
- *установкой мешалки с лопастями, вращающимися в противоположных направлениях* и или другими техническими приемами [1], [2].

Мы выдвигаем другой метод решения этой проблемы.

Выберем любой действующий смесительный аппарат (как правило [2] аппараты бывают предназначенными для решения конкретных, или ряда производственных задач). Изучим геометрию потока жидкости в проточной части этого аппарата, и определим роль того или иного механизма мешалки в формировании режима течения. Затем, на основании этих исследований, внесем соответствующие предложения для конструктивного изменения в проекте аппарата или нового создаваемого аппарата. Таким образом, мы можем оптимизировать работу рассматриваемого смесительного аппарата.

Наша работа относится к области литейного производства, в частности, к приготовлению глинистых суспензий и противопригарных красок для песчано-глинистых форм, а также к любой отрасли народного хозяйства, где необходимо приготовить суспензии и эссенции.

Целью работы является разработка устройства лопастного смесителя, с установленными параметрами узлов для качественного перемешивания материала при оптимальной интенсификации процесса.

Качество отливок получаемых в песчано-глинистых формах зависит от качества самой смеси, т.е. от уплотняемости, текучести, пластичности и прочности.

Для приготовления формовочной смеси используемой в литейном производстве необходимы следующие компоненты:

- отработанная оборотная смесь;
- песок кварцевый с содержанием природной глины менее 2%, марки КО16-КО32;
- глина огнеупорная бентонитовая молотая сухая, порошкообразная;
- лигносульфанат для повышения прочности смеси;
- каменноугольная пыль ПЖ для понижения химического пригара в разделе форма-металл.

Эти компоненты являются основными составляющими смеси при машинном уплотнении песчано-глинистых форм.

Усредненный состав смеси для тракторных отливок при машинной формовке следующий:

- оборотная смесь $\approx 93\%$,
- глинистая суспензия $\approx 3\%$,
- лигносульфанат $\approx 1\%$,
- асбестовые крошки $\approx 1\%$,
- свежий кварцевый песок $\approx 2\%$,

причем, при смешивании глину дают в виде водно-глинистой суспензии, так как раздельная их подача снижает их смешиваемость, т.е. равномерность покрытия суспензией поверхность каждой песчинки.

Таким образом, становится очевидным вопрос – «о получении качественной водно-глинистой суспензии» как главный компонент, определяющий прочностные свойства смеси.

Описание смесительного аппарата и принцип его работы Процесс получения глинистой суспензии происходит в смесительных аппаратах, т.е. в аппаратах с перемешивающими устройствами. Один из вариантов таких мешалок как в конструктивном, так и оптимизационном смысле процессов, рассматривается на настоящей работе. Это лопастной смеситель или смесительный аппарат АПТЖС: аппарат планетарного типа для перемешивания жидких сред.

В работе приведены схемы исследуемого смесителя – *осевое* (линейные размеры аппарата в рисунке не соблю-

даны). Смеситель состоит из бака 1, требуемой емкости, который имеет люк с смотровым окном 3, кран для выпуска готовой продукции 4, выхлопной патрубок 5. В центре бака расположен приводной вал 6 на опорных подшипниках 15. На вал неразъемно прикреплено верхний 7 и нижний 8 диски. Между дисками установлены неподвижные, расположенные относительно друг от друга по 120° оси 9. На эти оси одеты крыльчатки. Каждая крыльчатка состоит из втулки 11 и приваренных к ней, по 120° относительно друг друга 3-х лопаток 10. Внутренний диаметр втулки приблизительно равняется двум диаметрам оси. Такое соотношение выбрано потому, что при работе смесителя в этот зазор заливается суспензия. Благодаря жидкостным подшипникам уменьшается трение между осями и дисками, а также шум.

Момент на рабочий вал 6 передается от вала мотор двигателя¹ 13, планетарным планетарным редуктором, через зубчатое зацепление шестерен 12. Вал 6 вращается с необходимой для мотора-двигателя 13 скоростью 60 об/мин, поэтому мы выбираем одинаковые зубчатые колеса с углом делительного конуса равным 45° . Для лучшего сцепления шестерен, берем их круговыми зубьями.

Принцип работы данного устройства состоит в следующем: в начальный момент, не растворившиеся частицы глины центробежными силами стремятся к периферии, где подхватываются вращающимися на своих осях крыльчатками. Суспензия, проходя через отверстия лопастей, убыстрит процесс смешивания. Вращение крыльчаток осуществляется сампроизвольно, т.к. при единой для всей системы угловой скорости главного вала точки, лежащие на разных радиусах, не могут совершать одинаковый путь. Невозможность этого явления и приводит крыльчатки во вращение вокруг своей оси, в противоположном направлении вращения главного вала.

Расчет параметров лопастного смесителя АПТЖС В работе приведены расчеты конструкций лопастного смесителя для приготовления суспензии, с объемом воды 20 литров. Диаметр нашей бадьи равен 360 мм, это значение было получено исходя из того, что крыльчатка должна совершать 2,5 оборота за один оборот главного вала. Мы выбрали 2,5 обо-

¹ В новой разработке АПТТЖС вращение передается непосредственно к крыльчаткам.

рота, потому что меньшее значение не так эффективно при смешивании, а большее приводит к вспениванию суспензии, что негативно влияет на ее качество. Но все параметры были выбраны в соответствии со следующим расчетом:

1) путь окружной по радиусу $R=170$ мм равен:

$$C = 2\pi R = \pi \cdot 340 = 1068 \text{ мм},$$

2) путь точки лежащей на краю лопасти крыльчатки равен:

$$C_x = 2\pi R_x = 2 \cdot 66 \cdot \pi = 415 \text{ мм},$$

3) теперь определим число оборотов крыльчатки за один оборот главного вала:

$$n_{\text{кр}} = \frac{C}{C_x} = \frac{1068}{415} = 2,5.$$

4) теперь определим, к какому типу относится аппарат по скоростной характеристике; имеем

$$v = \omega \cdot R = 1 \cdot 1,7 = 1,7 \text{ м/сек},$$

а для концов лопаток крыльчатки имеем

$$v_x = 2v = 3,4 \text{ м/сек},$$

следовательно, аппарат относится к среднеходным, так как скорость вращения больше тихоходного, но меньше быстроходного.

Объем рабочей области бадьи (расстояние от нижней кромки верхнего диска до верхней кромки нижнего диска), рассчитывается из суммы воды, глины, всех элементов смесителя (часть главного вала, три оси, три крыльчатки), конструктивно расположенных в этой рабочей области. Следовательно, для того чтобы найти объем тела бадьи необходимо рассчитать и просуммировать все эти объемы, что мы и сделаем.

Объем воды:

$$V_{\text{воды}} = 20 \text{ л} = 20000 \text{ см}^3$$

Объем глины рассчитывается исходя из ее плотности, которая равна $1,25 \text{ г/см}^3$. Для 20 литров воды необходимо 8 кг бентонитовой глины, следовательно:

$$V_{\text{глин}} = \frac{8000}{1,25} = 6400 \text{ см}^3$$

Объем 9-ти лопастей равен объему этих лопастей без объемов отверстий:

$$\begin{aligned} V_{\text{лопастей}} &= 9[20 \cdot 0,3 \cdot 5,2 - 12 \cdot (3,14 \cdot 0,8^2 \cdot 0,3)] = \\ &= 9[31,2 - 12 \cdot 0,6] = 216 \text{ см}^3 \end{aligned}$$

Объем втулок трех крыльчаток:

$$V_{\text{аппарат}} = 3 \cdot (3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 22,7 - 3,14 \cdot 1,3^2 \cdot 22,7) = \\ = 3 \cdot (182,5 - 120,5) = 186 \text{ см}^3$$

Объем трех осей для крыльчаток:

$$V_{\text{осей}} = 3 \cdot 3,14 \cdot 0,8^2 \cdot 23 = 138,7 \text{ см}^3$$

Объем главного вала:

$$V_{\text{ст.вала}} = 3,14 \cdot 2,5^2 \cdot 23 = 451,2 \text{ см}^3$$

Теперь рассчитаем сумму всех этих объемов:

$$\Sigma V = V_{\text{воды}} + V_{\text{стани}} + V_{\text{лопастей}} + V_{\text{аппарат}} + V_{\text{осей}} + V_{\text{ст.вала}} = \\ = 20000 + 6400 + 216 + 186 + 138,7 + 451,2 = 27391,9 \text{ см}^3$$

Далее, учитывая диаметр бады и суммарный объем, находим высоту рабочей области смесителя:

$$H = \frac{\Sigma V}{\pi R^2} = \frac{27391,9}{3,14 \cdot 18^2} = 26,9 \text{ см.}$$

Принимаем высоту рабочей области 27 см.

Учитывая технологические зазоры и высоту рабочей области смесителя, принимаем высоту бака равной – 37 см.

Следующим этапом является расчет отверстий на нижнем диске. В первоначальном варианте эти отверстия не предусматривались. Однако изучение гидродинамических характеристик аппарата через геометрию потока показали, что появления этих дырок увеличивают насосные действия аппарата – появляются трехконтурные циркуляционные потоки. Причем, проведенные эксперименты показали, что число дырок на нижней диске 8 зависит от конфигурации лопастей крыльчаток.

Ниже приводимые расчеты соответствуют крыльчаткам типа В приложения 2.

Если s сечение одного отверстия на лопасти, то суммарное сечение отверстий на одной лопасти определяется:

$$\Sigma s = \frac{\pi d^2}{4} n = \frac{\pi \cdot 1,6^2}{4} 14 = 28 \text{ см}^2,$$

где n – число дырок на лопастях крыльчатки².

Далее будет установлено, что сечение одного отверстия на нижнем диске должно равняться Σs , а общее количество этих отверстий равно количеству крыльчаток, то есть трем. Тогда диаметр этих отверстий определим следующим образом:

² Дальнейшие исследования показали, что радиус отверстия должен определяться формулой $r = \sqrt{\pi(R^2 - r^2)}/3$.

$$D = \sqrt{\frac{4 \sum s}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 28}{3,14}} = 6 \text{ см}$$

Если радиус нижнего диска R_{no} , а $R_{ос}$ — радиус главного вала, то конструктивно эти отверстия будут располагаться на радиусе

$$R_{ос} + \frac{R_{но}}{2},$$

образуя между собой по 120° , как показано на рисунке 1

На основании разработки параметров смесителя для 20 литров воды, т.е. то, что мы выполнили выше, математически, физико-химически и экспериментально установлены следующие параметры смесителя, являющиеся общими для различных объемов:

1. $\frac{H_s}{D_s} = 1,02, \dots, 1,05$, где H_s и D_s — соответственно высота и внутренний диаметр бака.

2. $\frac{D_s}{d_s} = 2,5$, где d_s — диаметр окружности образуемой крыльчаткой во вращении.

$$3. R_s = \frac{d_s - d_o}{2} + l + R_o + \delta + z,$$

где R_s — радиус бака,

d_s — внутренний диаметр втулки крыльчаки;

d_o — диаметр оси;

l — ширина лопасти;

δ — толщина стенки втулки;

R_o — центральный радиус до центров осей;

$z = 5$ — технологический зазор.

$$4. d_o = \frac{R_s}{2} \left[\left(\frac{d_s - d_o}{2} \right) + l + \delta + z \right] - \text{диаметр главного вала.}$$

$$5. \frac{L}{l} \leq 4, \text{ где } L - \text{высота лопасти.}$$

$$6. T = \delta, \text{ где } T - \text{толщина лопасти.}$$

$$7. \frac{F_s}{\sum F_{no}} = 5, \text{ где } F_s - \text{площадь лопасти; } \sum F_{no} - \text{сумма площадей перфорированных отверстий.}$$

$$8. \frac{F_s}{\sum F_o} = 4, \text{ где } \sum F_o - \text{сумма площадей перфорированных отверстий на нижнем диске.}$$

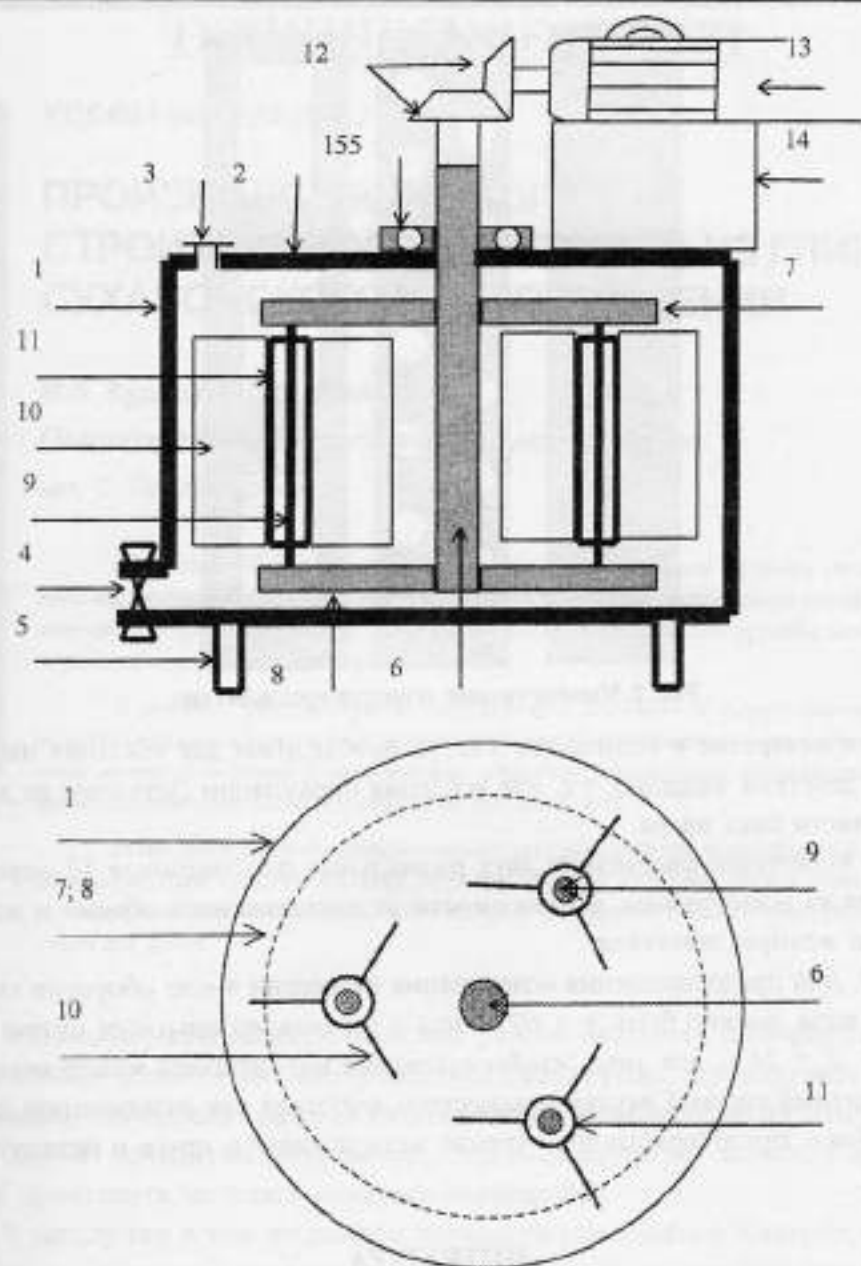


Рис.1. Осьевое и поперечное сечения бака смешительного аппарата АПТТЖС
(линейные размеры не сохранены)

1 – бак; 2 – крышка; 3 – окно загрузочное; 4 – кран выпускной; 5 – ножки опорные; 6 – вал приводной; 7 – диск верхний; 8 – диск нижний; 9 – ось; 10 – лопатка, 11 – втулка; 12 – шестерни конические; 13 – мотор-двигатель; 14 – крошгейн опорный; 15 – подшипники опорные;

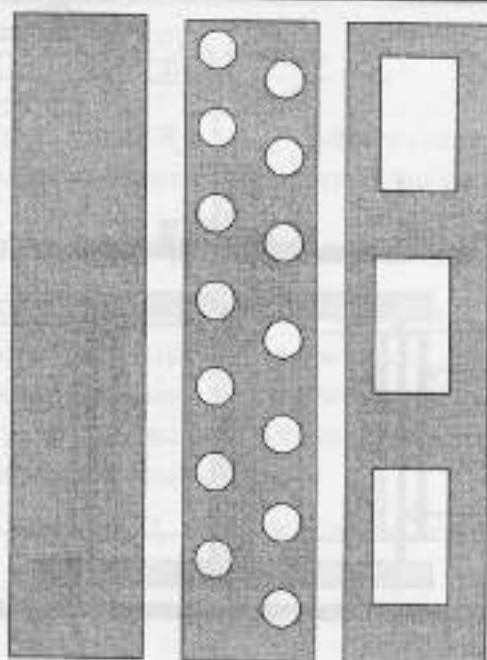


Рис. 2. Конфигурация лопастей крыльчатки

Эти отверстия в количестве 3 штук необходимы для усиления насосного действия мешалки, т.е. для усиления циркуляции суспензии из донной части бака вверх.

9. Межосевое расстояние двух радиальных подшипников 15 определяется из номограммы, в зависимости от смешиваемого объема и мощности мотора-двигателя.

10. Для предотвращения вспенивания суспензии число оборотов главного вала должно быть $n = 60 \text{ об/мин}$ – установлен опытным путем.

11 $d_s = 2d_p$ для того, чтобы суспензия находящаяся между осью и внутренней стенкой втулки крыльчатки, работала как «жидкостной подшипник», предотвращающая трение металла друг о друга и приглушая шум

ЛИТЕРАТУРА

1. Перри Д.Г. Справочник инженера-химика. – Т.2. – Ленинград: Химия, 1969.
2. Васильцов Э.А., Ушаков В.Г. Аппараты для перемешивания жидких сред. – Ленинград: Машиностроение, 1979.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 691:666.324.002.2

ПРОИЗВОДСТВО НОВОГО СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ИЗ ГЛИНЫ СУХАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

М.К. Кудерин, Д.Б. Шайхина

*Павлодарский государственный университет
им. С. Торайгырова*

Жұмыста Павлодар облысының кен орындарынан алынған отқа төзімді ақ сазды балшықты өнеркәсіптік өндірісте пайдалану және таздау нәтижелері қарастырылған. Оның химиялық, минералогиялық құрамы және керамикалық қасиеттері көрсетілген.

В работе рассмотрены результаты анализа и перспективы использования в промышленном производстве беложгущихся огнеупорных глин месторождений Павлодарской области. Приведены химический, минералогический состав и керамические свойства.

In the given work the analyses results and perspectives of using in industrial production of white burning fireproof clays of Pavlodar region formations are considered, chemical, mineralogical composition and ceramic properties are given.

В Павлодарской области Майском районе находятся обширные залежи глины. Одно из их месторождений беложгущих огнеупорных глин Западно-Сибирский горно-металлургический комбинат эксплуатировал 53 года! И прекратил лишь потому, что выработал эту залежь, а к другой приступить не успел: началась перестройка.

А между тем в том же районе, неподалёку от посёлка Коктобе, было выявлено площадное залегание (около 100 кв. км) каолиновых глин светлых окрасок, расположенных пластами, толщиной от одного до десяти метров. Мощность перекрываемых пластов песчанно-гравийной смеси достигает 22-34 метра. Месторождению дали название «Сухановское». Предварительная разведка показала, что запасы каолиновых глин исчисляются сотнями миллионов тонн. Дальнейшие лабораторно-техни-

ческие испытания образцов на предприятиях Акмолы и Капчагая, во всесоюзных НИИ Москвы и Санкт-Петербурга, Екатеринбургa и других городов показали, что сухановские глины не уступают по своему составом и качествам глинам крупнейших месторождений. Из них можно делать фарфоровую и фаянсовую посуду, сантехнику, облицовочную плитку и изоляторы, она – отличный огнеупор (выдерживает температуру 1730°C). Помимо этого, каолиновые глины применяют в электротехнике, в бумажной, текстильной, резиновой и еще ряде отраслей промышленности.

Значение Сухановского месторождения ценно еще и потому, что такие же глины на Украине, которыми пользовалась почти всё постсоветское пространство, практически выработаны. И казахстанский гигантский глиняный пласт, по оценке экспертов, может стать реальной сырьевой базой для предприятий Сибири, Урала, Средней Азии и других регионов. Только потребность самого Казахстана, по оценке Мингеологии РК, составляет в среднем 300 тысяч тонн огнеупорных глин.

Общая характеристика глины.

По химическому составу глина относится к основным [1].

Таблица 1

Химический состав глин

Содержание оксидов, мас. %							
SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O+Na ₂ O	Δm _{грн}
48,7-50,7	1,24	33,40	0,71	0,40	1,60	0,45	13,50

Минералогический состав.

Основной составляющей глины является каолинит и близкие к нему минералы группы каолинита с общей формулой: $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

Очень мало примесей кварца и слюды (до 5%)[1].

Гранулометрический состав глины.

Содержание фракций, %:

- более 0,01 мм – 3,69;
- 0,01–0,005 мм – 10,58,
- 0,005–0,001 мм – 22,47;
- менее 0,001 мм. – 63,26.

Согласно классификации глин по содержанию тонкодисперсных фракций, исследуемая глина относится к высокодисперсным глинам: содер-

жание частиц размером менее 10 мк – более 85% (10,58+22,47+63,26=96,31%), содержание частиц менее 1 мк – более 60% (63,26%).

Таблица 2

Керамические свойства

Температура обжига, °С	Свойства образцов			
	Лин. усадка, %	Водопоглощение, %	Пористость, %	Кажущаяся плотность, г/см ³ , т/см ³
600	3,3	30,2	43,5	1,44
800	4,5	30,7	43,8	1,43
1000	6,8	17,7	30,1	1,80
1100	11,9	17,0	30,5	1,80
1200	14,2	7,6	16,8	2,23
1250	18,1	2,1	5,5	2,61
1300	20,7	1,1	2,7	2,65
1400	22,2	1,5	3,6	2,39

Наряду с новыми технологиями производства новых строительных материалов очень популярным в настоящее время стало производство такого искусственного материала как керамогранит. При производстве изделия из керамики, в состав смеси которой входит глина, каолин, полевой шпат и окиси металлов, обнаружили, что при обжиге при температуре более 1300°С изделие приобретает особые свойства. Смесь начинает взаимодействовать на молекулярном уровне, спекается до такой степени, что образовывается монолит. Однородная масса материала получается очень твердая, без каких либо пор и трещин, следовательно, не впитывающая влагу. Известно, что если вода не проникает в тело материала, то он становится исключительно морозостойким. Полученный материал выдерживает температуру от -50°С до +50°С, причём полностью сохраняя свой внешний вид. И если учесть, что данному материалу можно придать разнообразие цветов и оттенков с помощью красителей, то становится ясным, почему изделия из нового материала стремительно завоевали популярность по всему миру. Производство и применение в строительстве нового отделочного материала - керамогранита началось в Италии. И в настоящее время, именно эта страна вместе с Испанией считаются крупнейшими мировыми передовиками в производстве керамогранита, равно как и «законодателями мод» в данной области.

Для изготовления керамогранита используют смесь сортов высококачественной белой глины, кварцевый песок, полевой шпат и, как мы уже

говорили, природные красители (окиси металлов). Из этой массы формируют плитки и прессуют их на гидравлических прессах под давлением $>500 \text{ кг/см}^2$. Готовые плитки обжигают при температуре 1300°C , получая, таким образом, материал значительно прочнее обычной керамической плитки. Процесс производства данного материала почти полностью повторяет природные условия образования натурального камня.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 9169-75. Сырьё глинистое для керамической промышленности. Классификация.
 2. ГОСТ 21216.1-81. Сырьё глинистое. Метод определения пластичности.
 3. ГОСТ 4069-68. Изделия и материалы огнеупорные. Метод определения огнеупорности.
 4. ГОСТ 6137-80. Мертели огнеупорные алюмосиликатные. Технические условия.
 5. ГОСТ 390-96. Изделия огнеупорные шамотные и полукистые общего назначения и массового производства.
-

УДК 624.159.14

ВОПРОСЫ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА «С ПОВЕРХНОСТИ» В КРУПНЫХ ГОРОДАХ

Т.М. Байтасов

*Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева,
г. Астана*

Мұнда үлкен қалалардың жер астындағы құрылыс мәселелері көрсетілген. Санау және жердің астындағы құрылыстың технологиясы жазылған. Істеген жұмыстардың нәтижелері көрсетілген.

Представлен анализ состояния вопросов подземного строительства «с поверхности» в крупных городах. Описаны вопросы расчета и технологии строительства подземных и заглубленных сооружений, а также представлены результаты проведенных исследований по этим вопросам.

There are several problems of the underground construction in the cities. This article presents the questions of calculate and technology of construction of the underground objects in that way the results of the research by this problems.

Во всех крупнейших городах мира в последние десятилетия активно развивается процесс освоения подземного пространства для размещения объектов различного назначения. К ним можно отнести подземные автостоянки, транспортные и инженерные коммуникации, торговые центры и т.д. Проводить строительные работы такого направления в сложившейся городской инфраструктуре с транспортными артериями, промышленными и гражданскими объектами, сложными подземными коммуникациями – весьма сложная задача.

Обратимся к имеющимся классификациям объектов подземного строительства по различным критериям.

Подземные и заглубленные сооружения классифицируют по следующим признакам:

- по функциональному назначению;
- по глубине заложения и расположению;
- по способу строительства.

По функциональному назначению, наиболее распространенными видами подземных и заглубленных сооружений являются: крупные торговые центры, различные хранилища и склады, подземные гаражи, промышленные объекты, подземные транспортные развязки, пешеходные и коммуникационные тоннели и т.д.

По глубине заложения, подземные и заглубленные сооружения делят на мелкие (до 10 метров) и глубокие (свыше 10 метров). По условиям же расположения, подземные и заглубленные объекты могут быть запроектированы как на незастроенной территории, так и в комплексе с наземными зданиями, в сочетании с подземными инженерными и транспортными сооружениями.

Способы строительства разделяются на две группы: подземные и возведение сооружений с поверхности. Подземные способы строительства используются главным образом при проходке тоннелей на глубинах более 10 метров, а способы строительства с поверхности включают в себя, помимо традиционного - возведения сооружений в открытых котлованах, метод «опускного колодца» и метод «стена в грунте».

Известными специфическими проблемами при устройстве фундаментов в открытом котловане является обеспечение устойчивости откосов котлована и защита его от подземных вод.

Применение метода «опускного колодца», заключающегося, вкратце, в погружении под собственным весом или под пригрузкой железобетонной оболочки сооружения, имеет определенные ограничения в реализации и недостатки.

Наиболее прогрессивным методом строительства подземных и заглубленных сооружений является способ, условно именуемый «стена в грунте».

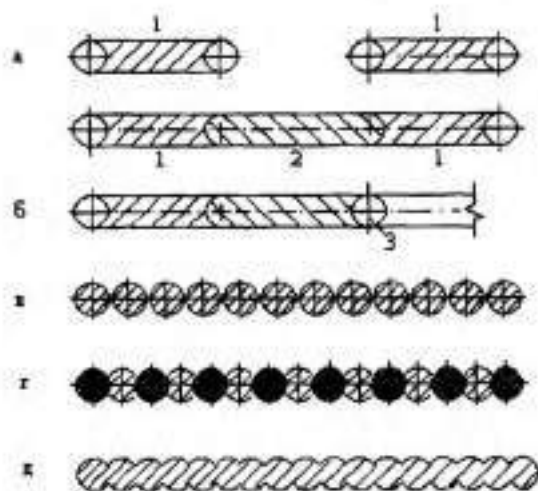
Область применения этого способа весьма широка и заключается в том, что ограждающие конструкции подземных и заглубленных сооружений «устраиваются» в узкой выработке (траншее) по контуру сооружения (в ряде случаев вместо траншей с последующим бетонированием используют секущиеся сваи) (рисунок 1). Затем под защитой уже возведенных стен удаляется грунт из внутреннего объема, устраивается днище, перекрытия и другие внутренние конструкции.

Способ «стена в грунте» рекомендуется применять при проектировании подземных сооружений, подземных этажей зданий гражданского и промышленного назначения, транспортных сооружений (подземные транспортные развязки, пешеходные и коммуникационные тоннели),

водозаборных и насосных станций и других инженерных объектов различного назначения [1, 2, 3].

Достоинство этого способа наиболее ярко проявляется при строительстве в условиях плотной городской застройки ввиду отсутствия ведения работ за пределами контура возводимого подземного сооружения и возможности устраивать стены любой конфигурации в плане. К основному недостатку же можно отнести необходимость бетонирования под защитой глинистого раствора, не обеспечивающего высокое качество бетона и полной водонепроницаемости [3].

По назначению стены в грунте разделяют на три типа: несущие, ограждающие и противофильтрационные. Наиболее массовое применение этого способа представлено противофильтрационными завесами, затем этот способ стал превалировать в строительстве подземных и заглубленных сооружений различного назначения. К числу наиболее ярких из них следует отнести в России – противофильтрационную завесу на Ингулецком ГОКе в Кривом Роге глубиной 12–24 метра и длиной 3200 метров; трехэтажная подземная часть здания в Москве со стоянкой на 440 автомобилей глубиной 9 метров. За рубежом: во Франции, в исторической части Парижа под двором Национальной Ассамблеи, фирмой «Солетанш» был сооружен подземный пятиэтажный гараж-стоянка, «стена в грунте» имела глубину 48 метров при глубине гаража 18 метров. Там



а – из соединяющихся траншей; б – из непрерывных траншей с секционным заполнением; в – из соприкасающихся свай; г – из пересекающихся свай; д – устраиваемые в траншеях из пересекающихся скважин (2)

Рис. 1. Виды «стены в грунте»

же, в Париже, вблизи отеля «Бояжон» было сооружено подземное здание под центральную телефонную станцию, «стена в грунте» имела глубину 25 метров. Особенно интенсивно осваивается подземное пространство в городах Японии с использованием способа «стена в грунте».

Стены проектируются монолитными или сборными из железобетонных элементов заводского изготовления (укладываются в траншеях), а также устраиваются из секующихся буронабивных свай. Сооружения, возводимые способом «стена в грунте», могут иметь в плане практически любую форму в зависимости от назначения сооружения, а глубина ограничивается возможностью используемых машин и механизмов, технологическими требованиями и инженерно-геологическими условиями.

Такие вопросы встают перед проектировщиками при расчетах сооружений такого типа, которые вытекают из назначения и вида самого сооружения. Так, если сооружение является отдельным подземным объектом (подземный паркинг и т.п.), то задача проектировщика заключается в том, чтобы обеспечить нормальную эксплуатацию и не допустить негативного влияния во время строительства и эксплуатации подземного сооружения на близлежащие строения. В случае же, когда сооружение, устроенное рассматриваемым способом «стена в грунте», выполняет функцию подземной части какого-либо здания, его следует отнести к категории заглубленных сооружений и подходить к расчету на основе глубокого анализа взаимодействия основания с заглубленным сооружением. Одними из предпосылок для проведения анализа являются следующие моменты, вытекающие из самого принципа способа «стена в грунте».

Во-первых, после завершения устройства заглубленной части (бетонирование днища, перекрытий и др.) мы имеем глубоко заглубленную подземную конструкцию с подошвой в виде развитой по площади плитой (плитный фундамент).

Во-вторых, если обратиться к разрезу заглубленного сооружения, устроенного способом «стена в грунте», заметим, что днище сооружения устроено выше отметки низа стены в грунте – это требование технологического процесса (Рисунок 2).

Исходя из этого, возникают несколько вопросов, требующих тщательного анализа:

– каким образом учитывать влияние заглубления и больших размеров подошвы заглубленного сооружения при расчете по первому и второму предельным состояниям;

– каково влияние на осадку сооружения, разницы в проектных отметках дна и «стены в грунте».

Для изучения этих вопросов был построен стенд с размерами $1100 \times 1000 \times 200$ (мм) со стенками из толстого оргстекла. На основе критериев подобия смоделировали грунты основания и подземную часть здания («стены в грунте» и дно), линейный масштаб моделирования находился в пределах $1/40$.

По результатам исследований получены следующие семейства графиков (Рисунок 3):

- зависимости осадки при постоянной глубине от ширины
- зависимости осадки при постоянной ширине от глубины
- эти же зависимости, но при различных превышениях отметок дна над низом стены.

Как видно из полученных графических зависимостей, налицо тенденция к снижению величины осадок заглубленного сооружения с увеличением глубины, ширины и величины превышения отметок дна над низом стены.

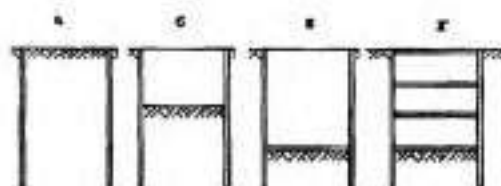


Рис. 2. Этапы устройства сооружения способом «стена в грунте»

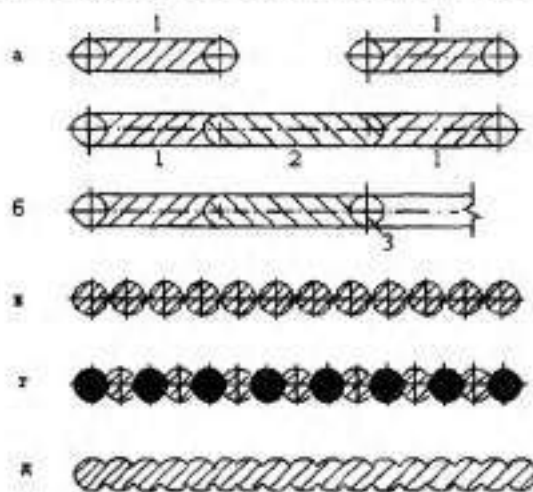


Рис. 3. Графики зависимостей осадки по результатам модельных исследований

Полученные результаты, сами по себе, не являются неожиданностью. Многочисленными исследованиями, установлено, что увеличение ширины подошвы фундамента и его глубины заложения «улучшают» работу основания и снижают величину осадки [5]. Но вместе с тем, если мы будем рассчитывать осадку заглубленного сооружения, устроенного способом «стена в грунте», столкнемся со следующими противоречиями. Так в формуле СНиП 2.02.01–83, которая рекомендована для расчета осадок фундаментом с шириной (диаметром) подошвы более 10 метров:

$$s = \frac{pbk_c}{k_m} \sum_{i=1}^n \frac{k_i - k_{i-1}}{E_i} \quad (1)$$

учитывается полное давление p под подошвой. То есть не принимается в учет историческое (бытовое) давления. Так, согласно СНиП 2.02.01–83, для оснований, рассчитываемых с применением расчетной схемы основания в виде линейно-деформируемого полупространства, влияние заглубления фундамента на его осадку учитывается путем вычитания из среднего давления, действующего по подошве фундамента, величины давления на той же глубине от собственного веса грунта (так называемого природного давления). При этом глубина заложения фундамента определяется от отметки поверхности природного рельефа. Таким образом, исходят из предпосылки, что при давлениях, меньших природного, грунт дополнительно не уплотняется, поскольку это уплотнение уже имело место при формировании грунтовой толщи. Исходя из изложенного, расчет осадки ведут только на величину дополнительного вертикального (избыточного, уплотняющего) давления $p_0 = p - \sigma_{\text{г.д}}$.

А при использовании формулы (1) гипотеза о том, что при давлениях, меньших природного, грунт дополнительно не уплотняется, не применяется. Возможно, это оправдано при неглубоком заложении фундаментов большой площади, но объем извлекаемого грунта при устройстве подземных (заглубленных) сооружений весьма велик. И неучет веса вынутаго грунта при устройстве заглубленного сооружения – является ошибочным.

Полученные зависимости показывают, что при увеличении заглубления снижение величины осадки сооружения – налицо. Вместе с тем, по результатам опытов установлено, что при увеличении разницы в отметках дна и низа стен в грунте также наблюдается снижение осадки сооружения.

Этот процесс объясняется тем, что в общей осадке фундамента (начальная осадка здесь не рассматривается) в зависимости от его площади и нагрузки в одних случаях решающую роль играет составляющая осадки за счет уплотнения (первая фаза деформации), а в других — за счет поперечных смещений частиц грунта (вторая фаза деформации). При $p = \text{const}$ увеличение ширины фундамента приводит к увеличению влияния на осадку уплотнения грунта и уменьшению влияния сдвиговых деформаций. То же происходит при увеличении глубины рассматриваемого слоя от подошвы фундамента.

А в случае устройства заглубленной части сооружения способом «стена в грунте», когда днище располагается выше низа «стен в грунте» влияние на процесс осадки поперечных смещений частиц грунта — снижается, условимся называть этот случай «эффектом обоймы».

Заключение

Проведенный теоретический анализ и лабораторные исследования на моделях заглубленного сооружения, устроенного способом «стена в грунте», показали:

- увеличение глубины и ширины подземного (заглубленного) сооружения приводит к значительному снижению величин осадок;
- так называемый «эффект обоймы» в еще более значительной степени снижает величины осадок;
- при расчете осадок, когда здание имеет развитую заглубленную часть, устроенную способом «стена в грунте», необходимо учитывать вес извлекаемого грунта и расчет проводить на величину дополнительного, а не полного давления под подошвой.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под общ. ред. Е.А. Сорочана и Г.Трофименкова. — М.: Стройиздат, 1985.

2. Ивахнюк В.А. Строительство и проектирование подземных и заглубленных сооружений. — М.: АСВ, 1999. — 298 с.

3. Драновский А.Н., Фадеев А.Б. Подземные сооружения в промышленном и гражданском строительстве. — Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1993.

4. Гольдштейн М.Н., Кузнецов С.Г. Расчеты осадок и прочности оснований зданий и сооружений. — Киев, 1977. — 208 с.

5. Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А. Расчет конструкций на упругом основании. — М.: Стройиздат, 1984. — 679 с.

УДК 624.152

ПОДГОТОВКА КОТЛОВАНОВ ПОД ФВК (ФУНДАМЕНТЫ В ВЫТРАМБОВАННЫХ КОТЛОВАНАХ) С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ИХ ПРОЕКТНОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

И.И. Бекбасаров

Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати

Трестастардың (түйгізіткен жасалатын қазан шұңқырлардағы трестастар) жүк көтерейін қабілетін қамтамасыз етуде олардың түйгізіткен жасалатын қазан шұңқырларын дайындау әдісі қарастырылған. Әдістің ерекшелігі қазан шұңқырлар тоқпақтың тағайындалған энергетикалық көрсеткіштерді қолданып дайындалуында. Тоқпақтың соғу саны соғу күшінің режиміне және тоқпақтың толық потенциалдық энергиясына байланысты анықталады. Тоқпақтың толық энергиясы топырақтың жүк көтерейін қабілетіне байланысты табылады. Тоқпақты тастау биіктігі ТЖҚШІ жасалу тәжірибесіне негізделінген ұсыныстар арқылы қабылданады.

Изложен способ устройства котлованов под ФВК (фундаменты в вытрамбованных котлованах) с обеспечением их несущей способности по грунту. Особенность способа состоит в том, что подготовка котлованов производится при заданных энергетических параметрах трамбовки. При этом, требуемое количество ударов трамбовки устанавливается в зависимости от режима приложения ударной нагрузки к грунту котлована и полной потенциальной энергии трамбовки, при которой достигается требуемая несущая способность грунта. Высота сбрасывания трамбовки назначается с учетом рекомендаций, составленных на основе обобщения опыта устройства котлованов под ФВК.

The way of the establishment of trenches under the bases in rammed foundation pits with maintenance of their rated carrying capacity for ground is stated. The feature of the way is, that the preparation of trenches is made at given, power parameters for ramming. Thus, the required quantity of ramming impacts is established depending upon a mode of the application of shock power to a ground of the trench and complete potential energy of ramming, at which the required carrying capacity of a ground is achieved. Height for downcasting of ramming is nominated on the basis of the recommendations made from generalization of experience of the trenches construction under the bases in rammed trenches with maintenance of their planned carrying capacity.

Традиционный способ устройства ФВК включает в себя вытрамбовывание котлованов заданных размеров. Такой подход не всегда обеспечивает достижение ФВК требуемой проектом несущей способности и особенно это проявляется при большой неоднородности грунтов площадки. По сравнению с указанным способом, более эффективным является вытрамбовывание котлованов с уплотнением их грунтов до требуемой плотности или несущей способности. В работах [1,2] автором ранее были рассмотрены основные положения по подготовке котлованов с требуемой плотностью грунтов. В настоящей же работе, излагаются особенности подготовки котлованов под ФВК с обеспечением их требуемой несущей способности. На одной и той же площадке, при неоднородных свойствах грунтов и одинаковых условиях вытрамбовывания, это выражаться в вытрамбовывании котлованов различной глубины, но с одинаковой несущей способностью грунтов.

Подготовка котлованов под ФВК с обеспечением их требуемой несущей способности состоит в вытрамбовывании котлованов и втрамбовывании в их дно жесткого материала (щебня, гравия, гравийно-галечниковой смеси и т.п.) определенным количеством ударов трамбовки при заданном порядке изменения высоты ее сбрасывания в процессе работ. При этом более предпочтительно как вытрамбовывание котлованов, так и втрамбовывание в их дно жесткого материала производить при ступенчато – возрастающем увеличении высоты сбрасывания трамбовки. При уменьшении плотности грунтов площадки по глубине или, когда ее значения незначительно отличаются друг от друга вытрамбовывание котлованов неглубокого заложения допускается производить при постоянной высоте сбрасывания трамбовки. Высоту сбрасывания трамбовки допускается также принимать постоянной и в случае втрамбовывания в дно котлованов жесткого материала объемом до 1 м^3 .

При вытрамбовывании котлованов путем сбрасывания трамбовки с постоянной высоты, ее энергетические параметры следует:

а) высоту сбрасывания трамбовки H_1 устанавливать по результатам опытных работ, проводимых в соответствии с требованиями СН РК 5.01-07-2003 «Фундаменты в вытрамбованных котлованах. Правила производства и приемки работ»;

б) количество ударов трамбовки N_1 назначать, исходя из условия

$$N_1 \geq E_{\text{т}} / G(H_1 + 0,5d), \quad (1)$$

где E_{r1} – полная, расчетная энергия трамбовки, кДж, при которой обеспечивается вытрамбовывание котлована под ФВК без уширенного основания с проектной несущей способностью F_{d1} ;

G – вес трамбовки, кН;

d_p – проектная глубина вытрамбовывания котлована, м.

При отсутствии результатов опытных работ высоту сбрасывания трамбовки H , допускается принимать на основе опыта устройства ФВК или по таблице 1.

Таблица 1

Высота сбрасывания трамбовки при вытрамбовывании котлованов и втрамбовывание в их дно жесткого материала

Высота сбрасывания трамбовки, м	Грунт площадки	Проектная глубина вытрамбовывания котлована d_p , м	Вес трамбовки G , кН
4,5/6,0	Суглинок, твердый, просадочный	2,0	40
3,5/5,0	То же	2,0	45
6,5/9,0	То же	3,0	50
5,5/8,0	Суглинок тугопластичный или глина твердая, полутвердая	2,5	60
5,5/8,0	Супесь твердая, просадочная,	2,0	60
8,5/12,0	Пески от пылеватых до гравелистых	3,0	80
7,0/10,0	Песок мелкозернистый, насыпной	3,0	80
8,0/11,0	Супесь твердая, просадочная	3,0	80
10,5/15,0	Суглинок твердый, просадочный	4,0	100

Примечание. В числителе представлена высота сбрасывания трамбовки при вытрамбовывании котлована, а в знаменателе – при втрамбовывании котлована с втрамбовыванием в его дно жесткого материала.

Полная расчетная энергия трамбовки E_{r1} в условии (1) при подготовке котлована без втрамбовывания в его дно жесткого материала определяется по формуле

$$E_{r1} = 16,67 (F_{d1} - 225), \quad (2)$$

где F_{d1} – проектная несущая способность ФВК без уширенного основания, кН.

Контроль за процессом вытрамбовывания котлована производится путем подсчета количества ударов трамбовки, наносимых с высоты H . Если при количестве ударов трамбовки N , фактическая глубина вытрамбовывания будет составлять менее проектной, то допускается производить довытрамбовывание котлована до проектной отметки его дна (при обеспечении сохранности стенок котлована).

В случае вытрамбовывания котлованов со ступенчато-возрастающим увеличением высоты сбрасывания трамбовки, ее энергетические параметры следует:

а) минимальную высоту сбрасывания трамбовки H_{\min} принимать не менее 1,5–2,0 м;

б) максимальную высоту сбрасывания трамбовки H_{\max} устанавливать по результатам опытных работ, проводимых в соответствии с требованиями СН РК 5.01-07-2003 «Фундаменты в вытрамбованных котлованах. Правила производства и приемки работ»;

в) количество ударов трамбовки N_1 назначать, исходя из условия

$$N_1 \geq [E_{r1} / G(H_{cp} + 0,5d_p)], \quad (3)$$

где H_{cp} — средняя высота сбрасывания трамбовки, равная $0,5(H_{\min} + H_{\max})$, м.

При отсутствии результатов опытных работ высоту сбрасывания трамбовки H_{\max} допускается принимать на основе опыта устройства ФВК или не менее высоты сбрасывания H_1 . Шаг высоты сбрасывания трамбовки ΔH_1 при вытрамбовывании котлованов следует принимать равным 0,25–2,0 м, а шаг изменения количества ударов трамбовки ΔN_1 равным 2–10 ударам.

Контроль за процессом вытрамбовывания котлована производится на основе графика изменения высоты сбрасывания трамбовки H от количества ударов трамбовки N . График строится на основе принятых параметров N_1 , H_{\min} , H_{\max} , ΔH_1 и ΔN_1 . Если при количестве ударов трамбовки N_1 фактическая глубина вытрамбовывания будет составлять менее проектной, то допускается производить до вытрамбовывание котлована до проектной отметки его дна (при обеспечении сохранности стенок котлована).

В случае вытрамбовывания котлованов и втрамбовывании в их дно жесткого материала путем сбрасывания трамбовки с постоянной высоты, ее энергетические параметры следует:

а) высоту сбрасывания трамбовки H_0 устанавливать по результатам опытных работ, проводимых в соответствии с требованиями СН РК 5.01-07-2003 «Фундаменты в вытрамбованных котлованах. Правила производства и приемки работ»;

б) количество ударов трамбовки назначать, исходя из условия (1) принимая в нем $E_{r1} = E_{r2}$ и $H_1 = H_0$.

При отсутствии результатов опытных работ высоту сбрасывания

трамбовки N_0 допускается принимать на основе опыта устройства ФВК или по таблице 1.

Полная расчетная энергия трамбовки E_{c2} , указанная в позиции «б» при подготовке котлована с втрамбовыванием в его дно жесткого материала определяется по формуле

$$E_{c2} = 13,16 (F_{c2} - 70), \quad (4)$$

где F_{c2} – проектная несущая способность ФВК с уширенным основанием, кН.

Контроль за процессом подготовки котлована с втрамбовыванием в его дно жесткого материала производится путем подсчета количества ударов трамбовки, наносимых с высоты H_0 . Если при количестве ударов трамбовки N_0 фактический объем жесткого материала будет меньше, чем проектный, то допускается производить до втрамбовывание необходимого объема жесткого материала в дно котлована (при обеспечении сохранности стенок котлована).

В случае вытрамбовывания котлованов и втрамбовывании в их дно жесткого материала со ступенчато-возрастающим увеличением высоты сбрасывания трамбовки следует:

а) минимальную высоту сбрасывания трамбовки H_{\min} принимать не менее 1,5–2,0 м;

б) максимальную высоту сбрасывания трамбовки H_{\max} устанавливать по результатам опытных работ, проводимых в соответствии с требованиями СН РК 5.01-07-2003 «Фундаменты в вытрамбованных котлованах. Правила производства и приемки работ»;

в) количество ударов трамбовки N_0 назначать, исходя из условия (3), принимая в нем $E_{c1} = E_{c2}$.

При отсутствии результатов опытных работ высоту сбрасывания трамбовки H_{\max} допускается принимать на основе опыта устройства ФВК или не менее высоты сбрасывания H_0 . Шаг высоты сбрасывания трамбовки ΔH_0 , при втрамбовывании в дно котлована жесткого материала, следует принимать равным 0,5–3,0 м, а шаг изменения количества ударов трамбовки ΔN_0 – равным 2–20 ударам.

Контроль за процессом подготовки котлована с втрамбовыванием в его дно жесткого материала производится на основе графика изменения высоты сбрасывания трамбовки H от количества ударов трамбовки N . График строится на основе принятых параметров N_0 , H_{\min} , H_{\max} , ΔH_1 , ΔN_1 , ΔH_2 и ΔN_2 . Если при количестве ударов трамбовки N_0 факти-

ческий объем жесткого материала будет меньше, чем проектный объем, то допускается производить довытрамбовывание необходимого объема жесткого материала в дно котлована (при обеспечении сохранности стенок котлована).

Значения проектной несущей способности ФВК F_{d1} и F_{d2} в формулах (2) и (4), при их определении на основе расчетов, допускается уточнять по формуле

$$F_{d1} (F_{d2}) = k_{in} F_{d1} \quad (5)$$

где F_{d1} – расчетное значение несущей способности ФВК, кН,

k_{in} – коэффициент, принимаемый по таблице 2.

Таблица 2

Значения коэффициента k_{in}

Грунт	Коэффициент k_{in}			
	для ФВК без уширенного основания	для ФВК с уширенным основанием при объеме втрамбованного щебня, м ³		
		0,8	1,0	1,2
Песчаный	1,05			
Глинистый	1,0	1,15	1,17	1,20

ЛИТЕРАТУРА

1. Бекбасаров И.И. Методика оперативного контроля уплотнения грунтов при вытрамбовывании в них котлованов // Научные труды ТарГУ им. М.Х. Дулати. – Тараз, 2001. – С.202-209.

2. Бекбасаров И.И., Шилибеков С.К. Контроль деформационно-прочностных характеристик грунтов в процессе их уплотнения // Материалы международного геотехнического симпозиума. – Санкт-Петербург, 2003. – С. 19-21

УДК 539.3:534.1

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ К РАСЧЕТУ ПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК НА ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ

С.К. Ельмуратов, Н.М. Шамрай, Н.Е. Айкенова

*Павлодарский государственный университет**им. С. Торайгырова*

Бұл мақалада қабыршықтардың динамикалық жүктемедегі жұмысы қарастырылған. Есептеу жолы соңғы алу әдістері арқылы ЭЕМ қолданып жүргізіледі.

В статье рассматривается расчет оболочек на динамические нагрузки. Расчет ведется методом конечных разностей с применением ЭВМ.

In clause the account of environments on dynamic loadings is considered. The account is conducted by a method of final differences with application of the ECM.

Для исследования вынужденных колебаний пологих оболочек с различными граничными условиями воспользуемся дифференциальным уравнением пологих оболочек:

$$D\nabla^2\nabla^2W - \nabla^2k\phi - P_s = 0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{Eh}\nabla^2\nabla^2\phi + \nabla^2kW = 0 \quad (2)$$

Здесь W – функция прогибов; ϕ – функция напряжений; k – кривизна оболочек; h – толщина оболочки; D – цилиндрическая жесткость, которая вычисляется по формуле

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)},$$

где ν – коэффициент Пуассона.

Рассмотрим пологую оболочку положительной гауссовой кривизны с прямоугольным планом. Запишем уравнение (1) и (2) в развернутом виде

$$\frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 W}{\partial y^4} - \frac{1}{D} \left(k_1 \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + k_2 \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - q - \frac{\gamma}{g} R \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} \right) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + Eh \left(k_1 \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + k_2 \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right) = 0 \quad (4)$$

Поперечная нагрузка задается в виде

$$q = R(A \cos \theta t + B \sin \theta t) - \frac{P}{g} \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} \quad (5)$$

Ищем решение уравнения (3) в виде

$$W(x, y, t) = W(x, y) \cdot (A \cos \theta t + B \sin \theta t) \quad (6)$$

Подставляем (6) в (3) получим

$$\frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 W}{\partial y^4} - \frac{1}{d} \left(k_1 \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + k_2 \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} - \frac{P \theta^2}{g} W - R - \frac{\gamma \theta^2}{g} W \right) = 0 \quad (7)$$

$$\frac{\partial^4 \phi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \phi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \phi}{\partial y^4} + Eh \left(k_1 \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + k_2 \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right) = 0 \quad (8)$$

Для решения дифференциальных уравнений (7) и (8) применим метод конечных разностей, для чего аппроксимируем пологую оболочку регулярной сеткой. Запишем уравнение (7) и (8) в конечных разностях для i -й точки сеточной области

$$\left(\varphi_1 - \frac{P \theta^2 \lambda_x^2 \lambda_y^2}{gD} - \frac{\gamma \theta^2 \lambda_x^2 \lambda_y^2}{gD} \right) W_i + \varphi_2 (W_i + W_x) + \varphi_3 (W_n + W_m) + \varphi_4 (W_y + W_p + W_r + W_o) + \varphi_5 (W_i + W_r) + \varphi_6 (W_n + W_o) - 2 \varphi_7 \left(\frac{-k_1 \lambda_x^2}{D} - \frac{k_2 \lambda_y^2}{D} \right) - (\phi_i + \phi_x) \frac{k_1 \lambda_x^2}{D} - (\phi_n + \phi_m) \frac{k_1 \lambda_x^2}{D} = R \lambda_x^2 \lambda_y^2 \quad (9)$$

$$\varphi_1 \phi_i + \varphi_2 (\phi_i + \phi_x) + \varphi_3 (\phi_n + \phi_m) + \varphi_4 (\phi_y + \phi_p + \phi_r + \phi_o) + \varphi_5 (\phi_i + \phi_r) + \varphi_6 (\phi_n + \phi_o) + 2W_i (-k_1 \lambda_x^2 Eh - k_2 \lambda_y^2 Eh) + (W_n + W_m) k_1 \lambda_x^2 Eh + (W_i + W_x) k_2 \lambda_y^2 Eh = 0, \quad (10)$$

где коэффициенты при прогибах определяются выражениями

$$\varphi_1 = \frac{6\eta_1}{\mu^2} + 8 + 6\eta_2 \mu^2, \quad \varphi_2 = -\frac{4\eta_1}{\mu^2} - 4, \quad (11)$$

$$\varphi_3 = -4\eta_2 \mu^2 - 4, \quad \varphi_4 = 2, \quad \varphi_5 = \frac{\eta_1}{\mu^2}, \quad \varphi_6 = \eta_2 \mu^2$$

Для прямоугольных оболочек $\mu = a/b$ – соотношение сторон.

Для случаев сосредоточенного приложения возмущающей силы и масс приняты следующие обозначения:

$$P_0 = P\lambda_x\lambda_y, R_0 = R\lambda_x\lambda_y, \gamma_0 = \gamma\lambda_x\lambda_y \quad (12)$$

Выразим λ_x и λ_y через длины стороны и число шагов сетки s и перепишем уравнение (9) и (10)

$$\begin{aligned} & \left(\varphi_1 - \frac{P_0\theta^2}{s^2\mu} - \frac{\gamma_0\theta^2}{s^4\mu^2} \right) W_i + \varphi_2(W_i + W_k) + \varphi_3(W_n + W_m) + \\ & + \varphi_4(W_q + W_r + W_s + W_t) + \varphi_5(W_i + W_k) + \varphi_6(W_q + W_r) - \\ & - 2\varphi_7 \left(\frac{-\bar{k}_1}{Ds^2} - \frac{\bar{k}_2}{Ds^2} \right) - (\phi_i + \phi_k) \frac{\bar{k}_2}{Ds^2\mu^2} - (\phi_n + \phi_m) \frac{\bar{k}_2}{Ds^2} = \frac{R_0}{D} \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} & \varphi_1\phi_i + \varphi_2(\phi_i + \phi_k) + \varphi_3(\phi_n + \phi_m) + \varphi_4(\phi_q + \phi_r + \phi_s + \phi_t) + \\ & + \varphi_5(\phi_i + \phi_k) + \varphi_6(\phi_q + \phi_r) + 2W_i \left(-\frac{\bar{k}_1 Eh}{s^2} - \frac{\bar{k}_2 Eh}{s^2} \right) + \\ & + (W_n + W_m) \frac{\bar{k}_1 Eh}{s^2} + (W_i + W_k) \frac{\bar{k}_2 Eh}{s^2} = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

Поверхность оболочки аппроксимируем регулярной сеткой. Записав для каждого узла сеточной области уравнения в конечных разностях (13) и (14) с учетом граничных условий, получаем систему уравнений. Для решения этих уравнений была составлена программа на языке Turbo Pascal. Решение систем выполнялось методом Зейделя. Полученные результаты сравнивались с имеющимися в литературе [1]. Наблюдается хорошие совпадения. Сходимость метода конечных разностей проверялась путем сгущения сетки, аналогичные исследования применительно к динамике оболочек выполнялись в работе [2]. На основе составленной программы решены задачи по вынужденным колебаниям оболочек при действии различных поперечных нагрузок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. Часть II./Под редакцией А.А. Уманского – М., 1973.
2. Эльмуратов С.К. Численная методика исследования динамической устойчивости оболочек и пластины / строительная механика. – Караганда: КарПТИ, 1991.

УДК 739.3:534.1

ВЛИЯНИЕ ЖЁСТКОСТИ АМОРТИЗИРУЮЩЕГО СЛОЯ, ОТДЕЛЯЮЩЕГО ТОНКУЮ ЦИЛИНДРИЧЕСКУЮ ОБОЛОЧКУ ОТ УПРУГОЙ СРЕДЫ, НА ВЕЛИЧИНУ КРИТИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ НАГРУЗКИ

К.К. Кайдаров*Павлодарский университет***В.Н. Украинец***Павлодарский государственный университет**им. С. Торайгырова*

Мақалада тегіс ортаның жұқа шексіз цилиндрлік қабатын бөліп тұратын амортизаторлық қабатының параметрлерінің ось бойымен бір қалыпты жылжыған кездегі осесимметриялық күшінің жылдамдық көлеміне әсері зерттеледі. Қабаттардың қубылуы жұқа қабаттарды теңестірудің классикалық теориясымен сипатталады, ал қоршаған ортаның қозғалысы тегістіктің динамикалық деңгейі теориясымен сипатталады. Амортизаторлық қабаттың күшінің критикалық жылдамдық көлеміне үйлесіміне сандық зерттеу жүргізілді.

Исследуется влияние параметров амортизирующего слоя, отделяющего тонкую бесконечную цилиндрическую оболочку от упругой среды, на величину критической скорости равномерно движущейся вдоль оси оболочки осесимметричной нормальной нагрузки. Колебания оболочки описываются классическими уравнениями теории тонких оболочек, а движения окружающей среды – динамическими уравнениями теории упругости. Проведено численное исследование жёсткости амортизирующего слоя на величину критической скорости нагрузки.

The article shows the influencing of parameters of a damping layer, separated off a thin infinite cylindrical shell from an elastic medium, on the critical speed level uniformly moving lengthwise axis shell of an axisymmetrical normal loading. The demurs of the shell are described by the classic equations of the theory of thin shells, and movement of an environment – by the dynamic equations of a theory of elastic strength. The numerical research of a rigidity of a damping layer for the value of critical loading speed is conducted.

Мировая практика эксплуатации подземных сооружений в виде трубопроводов водо- и газоснабжения городов, различных транспортных тоннелей и т.п. свидетельствует о многочисленных повреждениях и разрушениях, которым они подвергаются вследствие динамического воздействия движущегося внутреннего давления. Несмотря на это, в настоящее время отсутствуют систематические теоретические исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) и прочности такого рода сооружений. Это связано с тем, что каждый несущий элемент подземной конструкции взаимодействует с реальным массивом, включающим геологические породы с большим разнообразием физико-механических свойств. Важное значение также имеют глубина заложения и конструкция самого сооружения.

Проектирование сооружений мелкого заложения в грунте ведёт к удешевлению строительства, сокращению его сроков и, следовательно, освобождению трудовых ресурсов. Однако опыт эксплуатации тоннелей в условиях городской застройки показывает, что при их мелком заложении происходит резкое возрастание уровня вибрации в зданиях и сооружениях, расположенных вблизи источников возмущений. Превышение уровня вибраций допустимых норм, установленных для зданий, приводит к непригодности последних для жилья. Кроме того, вибрации оказывают неблагоприятное воздействие на различные технологические процессы повышенной точности и людей. В связи с этим необходимо не только обеспечить достаточную надёжность всех элементов подземной конструкции, но и решить вопрос о допустимом приближении к ней наземных сооружений.

Решение современных задач механики деформируемого твёрдого тела с целью создания теоретической базы для таких расчётов опирается на модельный метод исследования.

В качестве основных модельных задач, используемых для исследований, обычно используются задачи о поведении подземного сооружения в виде подкреплённой оболочкой протяжённой цилиндрической полости в полупространстве (свободная поверхность которого параллельна образующей полости) или пространстве при движущейся вдоль оси полости нагрузке. Первая задача моделирует сооружение мелкого заложения, вторая – глубокого. Вопрос о допустимом приближении зданий и сооружений к тоннелям мелкого заложения можно разрешить, исследуя первую задачу. Решив вторую задачу, можно определить, на каком расстоянии от тоннеля эффект динамического воздействия движущейся нагрузки

будет несущественным, и дать рекомендации относительно оптимальной глубины его заложения.

Как показали ранние исследования [1-4], величина радиуса динамически активного слоя окружающей оболочку среды тем больше, чем ближе значение скорости движущейся нагрузки к критической скорости. Так как величина последней зависит от соотношения физико-механических параметров оболочки и среды, критическую скорость можно повысить (тем самым уменьшая динамически активный слой), изменив, например, параметры оболочки, т.е. используя оболочку из другого материала, что на практике не всегда возможно.

Задача упростится, если оболочку отделить от среды некоторым слоем (назовём его амортизирующим слоем). Тогда, подбирая материал слоя, можно, как показали расчёты, произведенные в данной работе, добиться значительного повышения величины критической скорости, что позволит существенно уменьшить глубину заложения сооружения. Искусственное создание такого слоя при строительстве легко осуществимо.

В данной работе исследуется влияние параметров амортизирующего слоя, отделяющего тонкую бесконечную цилиндрическую оболочку от упругой среды, на величину критической скорости равномерно движущейся вдоль оси оболочки осесимметричной нормальной нагрузки. Колебания оболочки описываются классическими уравнениями теории тонких оболочек, а движения окружающей среды – динамическими уравнениями теории упругости.

При помощи интегрального преобразования Фурье в подвижной системе координат получено стационарное решение задачи.

Проведено численное исследование жёсткости амортизирующего слоя на величину критической скорости нагрузки.

Результаты работы могут быть использованы при расчёте транспортных трубопроводов и тоннелей глубокого и мелкого заложения.

1. Рассмотрим цилиндрическую полость радиуса $r = a_2$, подкреплённую двухслойной оболочкой, в бесконечной, линейно-упругой, изотропной, однородной среде. Радиус срединной поверхности тонкой оболочки $r = a_1$, толщина h_1 . Толщина амортизирующего слоя – h_2 . Ввиду малости h_1 , будем считать, что тонкостенная оболочка контактирует с амортизирующим слоем при $r = a_1$.

Контакт амортизирующего слоя с окружающей средой будем считать скользящим, а между тонкой оболочкой и амортизирующим слоем – либо жёстким, либо скользящим.

Внутри оболочки вдоль образующей с постоянной скоростью C движется осесимметричная нормальная нагрузка P .

Механические свойства материала оболочки, амортизирующего слоя и окружающей среды характеризуются постоянными: $\nu_j, \mu_j, \rho_j, j = 1, 2, 3$. Здесь ν_j – коэффициент Пуассона, μ_j – модуль сдвига, ρ_j – плотность. В дальнейшем индекс 1 будет относиться к параметрам тонкой оболочки, 2 – к параметрам амортизирующего слоя, 3 – к параметрам среды.

Для описания движения тонкой оболочки будем использовать классические уравнения теории тонких оболочек [5], которые при осесимметричной нагрузке примут вид:

$$\frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} + \frac{\nu_1}{a_1} \cdot \frac{\partial w_1}{\partial x} = \rho_1 \frac{1-\nu_1}{2\mu_1} \cdot \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} - \frac{1-\nu_1}{2\mu_1 h_1} P_x \quad (1.1)$$

$$\frac{\nu_1}{a_1} \cdot \frac{\partial u_1}{\partial x} + \frac{h_1^2}{12} \cdot \frac{\partial^4 w_1}{\partial x^4} + \frac{w_1}{a_1^2} = -\rho_1 \frac{1-\nu_1}{2\mu_1} \cdot \frac{\partial^2 w_1}{\partial t^2} - \frac{1-\nu_1}{2\mu_1 h_1} (P_r - P),$$

а для описания движения амортизирующего слоя и среды воспользуемся точным уравнением теории упругости:

$$(\lambda_j + 2\mu_j) \frac{\partial \theta_j}{\partial x} + 2\mu_j \frac{\partial \omega_{\theta_j}}{\partial x} = \rho_j \frac{\partial^2 w_j}{\partial t^2}, \quad (1.2)$$

$$(\lambda_j + 2\mu_j) \frac{\partial \theta_j}{\partial x} + \frac{2\mu_j}{r_0} \cdot \frac{\partial}{\partial r_0} (r_0 \omega_{\theta_j}) = \rho_j \frac{\partial^2 u_j}{\partial t^2}, j = 2, 3$$

В уравнениях (1.1) и (1.2) приняты следующие обозначения: x, r_0 – осевая и радиальная координаты в неподвижной системе координат; u_j, w_j – соответственно, осевые и радиальные перемещения ($j=1,2,3$); P_x, P_r – составляющие реакции амортизирующего слоя; P – интенсивность внешней нагрузки;

$$\theta_j = \frac{1}{r_0} \frac{\partial}{\partial r_0} (r_0 w_j) + \frac{\partial u_j}{\partial x}; \quad 2\omega_{\theta_j} = \frac{\partial w_j}{\partial x} - \frac{\partial u_j}{\partial r_0}; \quad \lambda_j = \frac{2\nu_j \mu_j}{1-2\nu_j}.$$

Так как при установившемся процессе картина деформаций стационарна по отношению к движущейся нагрузке, то можно перейти к подвижной системе координат [1]:

$$r = r_0, \quad \eta = \frac{x-ct}{a_2}, \quad \eta_1 = \eta \frac{a_2}{a_1}.$$

Тогда уравнения (1.1) и (1.2) примут вид:

$$\left[1 - \frac{(1 - \nu_1)\rho_1 c^2}{2\mu_1}\right] \frac{d^2 u_1}{d\eta_1^2} + \nu_1 \frac{dw_1}{d\eta_1} = - \frac{(1 - \nu_1)a_1^2}{2\mu_1 h_1} p_1,$$

$$\nu_1 \frac{du_1}{d\eta_1} + \frac{h_1^2}{12a_1^2} \frac{d^4 w_1}{d\eta_1^4} + (1 - \nu_1) \frac{\rho_1 c^2}{2\mu_1} \frac{d^2 w_1}{d\eta_1^2} + w_1 = \frac{(1 - \nu_1)a_1^2}{2\mu_1 h_1} (p - p_1) \quad (1.3)$$

$$(\lambda_j + 2\mu_j) \frac{\partial \theta_j}{\partial r} + \frac{2\mu_j}{a_2} \frac{\partial \omega_{\varphi_j}}{\partial \eta} = \rho_j \frac{c^2}{a_2^2} \frac{\partial^2 w_j}{\partial \eta^2},$$

$$\frac{1}{a_2} (\lambda_j + 2\mu_j) \frac{\partial \theta_j}{\partial \eta} - \frac{2\mu_j}{r} \frac{\partial (r\omega_{\varphi_j})}{\partial r} = \rho_j \frac{c^2}{a_2^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \eta^2}, \quad (1.4)$$

где

$$\theta_j = \frac{\partial w_j}{\partial r} + \frac{w_j}{r} + \frac{1}{a_2} \frac{\partial u_j}{\partial \eta}; \quad 2\omega_{\varphi_j} = \frac{1}{a_2} \frac{\partial w_j}{\partial \eta} - \frac{\partial u_j}{\partial r}.$$

Таким образом, решение задачи сводится к совместному интегрированию уравнений движения оболочки (1.3), амортизирующего слоя и внешней среды (1.4) при выполнении условий контактов. Если контакт между тонкой оболочкой и амортизирующим слоем жесткий, а между амортизирующим слоем и средой скользящий, то

при $r = a_1$: $u_1 = u_2$, $w_1 = w_2$,

при $r = a_2$: $w_2 = w_3$, $\tau_{r\eta}^{(2)} = 0$, $\sigma_r^{(2)} = \sigma_r^{(3)}$, $\tau_{r\eta}^{(3)} = 0$, (1.5)

где $\tau_{r\eta}^{(i)} = 0$, $\sigma_r^{(i)}$ – касательные и нормальные напряжения в амортизирующем слое и среде ($j = 2, 3$).

В случае если между оболочкой и амортизирующим слоем контакт скользящий, в уравнениях (1.5) первое замещается на $\tau_{r\eta}^{(2)} = 0$.

2. Выразим компоненты перемещений в амортизирующем слое и окружающей среде через потенциалы φ_j и ψ_j [6, 1].

$$u_j = \frac{1}{a_2} \frac{\partial \varphi_j}{\partial \eta} + \frac{\partial^2 \psi_j}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \psi_j}{\partial r}, \quad w_j = \frac{\partial \varphi_j}{\partial r} - \frac{1}{a_2} \frac{\partial^2 \psi_j}{\partial r \partial \eta}, \quad j = 2, 3 \quad (2.1)$$

Выражения (2.1) будут решениями (1.4), если φ_j и ψ_j удовлетворяют уравнениям:

$$\nabla^2 \varphi_j = \frac{M_j^2}{a_2^2} \frac{\partial^2 \varphi_j}{\partial \eta^2}, \quad \nabla^2 \psi_j = \frac{M_4^2}{a_2^2} \frac{\partial^2 \psi_j}{\partial \eta^2}, \quad (2.2)$$

где

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{a_2^2} \frac{\partial^2}{\partial \eta^2}, \quad M_j = \frac{c}{c_{rj}}, \quad M_4 = \frac{c}{c_{sj}},$$

$$c_{rj} = \left(\frac{\lambda_j + 2\mu_j}{\rho_j} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad c_{sj} = \left(\frac{\mu_j}{\rho_j} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad j = 2, 3.$$

Здесь c_{rj} , c_{sj} — соответственно, скорости распространения волн расширения — сжатия и сдвига в амортизирующем слое и упругой среде.

Применяя к (1.3) и (2.2) преобразование Фурье по η , получим систему:

$$\begin{aligned} - \left[1 - \frac{(1 - \nu_j) \rho_j c^2}{2\mu_j} \right] \xi_0^2 \bar{u}_j + \nu_j i \xi_0 \bar{w}_j &= - \frac{(1 - \nu_j) a_1^2}{2\mu_j h_1} P_{\eta_j}, \\ \nu_j i \xi_0 \bar{u}_j + \left[\frac{h_1^2 \xi_0^4}{12 a_1^2} - (1 - \nu_j) \frac{\rho_j c^2 \xi_0^2}{2\mu_j} + 1 \right] \bar{w}_j &= \frac{(1 - \nu_j) a_1^2}{2\mu_j h_1} (\bar{p} - \bar{p}_r), \\ \frac{a^2}{dr^2} \bar{\varphi}_j + \frac{1}{r} \frac{d\bar{\varphi}_j}{dr} - m_j^2 \xi_0^2 \bar{\varphi}_j &= 0, \quad \frac{d^2 \bar{\psi}_j}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\bar{\psi}_j}{dr} - m_4^2 \xi_0^2 \bar{\psi}_j &= 0, \end{aligned} \quad (2.3)$$

где

$$\begin{aligned} \bar{u}_j(\xi, r) &= \int_{-\infty}^{\infty} u_j(\eta, r) e^{-i\xi\eta} d\eta, \quad \xi_0 = \frac{\xi}{a_2}, \\ f^2 &= -1, \quad m_j^2 = 1 - M_j^2, \quad m_4^2 = 1 - M_4^2, \quad \xi_0 = \frac{a_1}{a_2} \xi. \end{aligned}$$

Разрешая первые два уравнения (2.3) относительно трансформант \bar{u}_j и \bar{w}_j , получим:

$$\begin{aligned} \bar{u}_j &= b_1 \bar{P}_{\eta_j} + i b_2 \bar{P}_r - i b_3 \bar{P}, \\ \bar{w}_j &= i b_3 \bar{P}_{\eta_j} + b_3 \bar{P}_r - b_3 \bar{P}. \end{aligned} \quad (2.4)$$

Здесь $b_1 = -b_{01} (b_{02} \xi_0^2 - b_{03} \xi_0^3 + 1)$, $b_2 = b_{01} \nu_j \xi_0$, $b_3 = b_{01} (1 - b_{03}) \xi_0^2$,

$$b_{01} = \frac{(1 - \nu_j) a_1^2}{2\mu_j h_1 \Delta}, \quad b_{02} = \frac{h_1^2}{12 a_1^2}, \quad b_{03} = \frac{(1 - \nu_j) \rho_j c^2}{2\mu_j},$$

$$\Delta = [(b_{03} - 1)(b_{02}\xi_1^4 - b_{03}\xi_1^2 + 1) + v_1^2]\xi_1^2, \quad \bar{P}_\eta = \bar{\tau}_{r\eta}^{(2)}|_{r=a_1}.$$

Рассмотрим случай, когда скорость нагрузки меньше скоростей распространения волн сдвига в амортизирующем слое и среде. Тогда $m_1^2 > 0$, $m_2^2 > 0$ и решения двух последних уравнений (2.3) с учётом условий при $r \rightarrow \infty$ запишется в виде:

$$\begin{aligned} \bar{\varphi}_2 &= A_1 K_0(k_1 r) + A_2 I_0(k_1 r), \\ \bar{\psi}_2 &= A_3 K_0(k_2 r) + A_4 I_0(k_2 r), \\ \bar{\varphi}_3 &= A_5 K_0(k_3 r), \\ \bar{\psi}_3 &= A_6 K_0(k_4 r) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Здесь $I_0(z)$, $K_0(z)$ – функции Бесселя первого и второго рода от мнимого аргумента, $k_1 = m_1 |\xi_0|$, $k_2 = m_{12} |\xi_0|$, $k_3 = m_3 |\xi_0|$, $k_4 = m_{32} |\xi_0|$.

Используя закон Гука, можно выразить компоненты напряжений в амортизирующем слое и среде через потенциалы φ_j и ψ_j [3]. Применяя к выражениям для определения напряжений и перемещений в амортизирующем слое и среде преобразования Фурье по η , можно получить, с учётом (2.5), выражения для их трансформант.

Для определения постоянных A_k ($k = 1, 2, \dots, 6$) воспользуемся граничными условиями (1.5). Из последнего следует:

$$A_6 = -i \frac{2k_3}{k_4 \xi_0 (1 + m_{32}^2)} \frac{K_1(k_3 a_2)}{K_1(k_4 a_2)} A_5.$$

Подставляя в граничные условия соответствующие выражения, получаем систему алгебраических уравнений для определения остальных констант:

$$[G]\{\bar{A}\} = \{\bar{P}^*\} \quad (2.6)$$

где $[G]$ – матрица 5×5 , элементы которой определяются по формулам:

$$g_{11} = f_2 d_1 - f_1 d_2, \quad g_{12} = -(f_4 d_1 + f_1 d_2), \quad g_{13} = f_2 d_3 - f_1 d_4, \quad g_{14} = -(f_4 d_3 - f_1 d_4), \quad g_{15} = 0;$$

$$g_{21} = -(f_2 d_5 - f_1 e), \quad g_{22} = f_4 d_5 - f_1 e, \quad g_{23} = -(f_4 d_6 + f_1 2m_{32}^2), \quad g_{24} = f_4 d_6 - f_1 2m_{32}^2, \quad g_{25} = 0;$$

$$g_{31} = -m_2, \quad g_{32} = m_2, \quad g_{33} = -m_{32}, \quad g_{34} = m_{32}, \quad g_{35} = -m_3 \frac{M_{32}^2}{n_3};$$

$$g_{41} = -2m_2, \quad g_{42} = 2m_2, \quad g_{43} = -n_2, \quad g_{44} = n_2, \quad g_{45} = 0;$$

$$g_{51} = f_2 e + \frac{2m_2}{\xi}, \quad g_{52} = f_1 e - \frac{2m_2}{\xi}, \quad g_{53} = \left(f_{11} + \frac{1}{m_{12} \xi} \right) 2m_{12}^2,$$

$$g_{54} = \left(f_{12} - \frac{1}{m_{32} \xi} \right) 2m_{32}^2, \quad g_{55} = \frac{\mu_3}{\mu_2} \left(f_{14} \frac{4m_3 m_{32}}{n_3} - f_{13} n_3 + \frac{2m_3 M_{32}^2}{n_3 \xi} \right).$$

Здесь

$$\{p^*\} = \left\{ \frac{\bar{P}}{\mu_2 \xi_0^2}, \frac{\bar{P}}{\mu_2 \xi_0^2}, 0, 0, 0 \right\}, \quad n_1 = 1 + m^2 \xi_0^2, \quad n_2 = m^2 n_1, \quad n_3 = 1 + m^2 \xi_0^2,$$

$$e = 2 - \frac{\rho_2 \mu_2}{\rho_3 \mu_2} M_{23}^2, \quad d_1 = -2m_2 \left(\frac{b_1}{b_2} + \frac{1+\chi}{\xi} \right), \quad d_2 = \frac{a_2}{\mu_2 b_2 \xi} + e,$$

$$d_3 = -m_{12} \left(\frac{b_1}{b_2} n_1 + 2 \frac{1+\chi}{\xi} \right), \quad d_4 = m_{12}^2 \left(\frac{a_2}{\mu_2 b_2 \xi} + 2 \right), \quad d_5 = m_2 \left(2 \frac{1+\chi}{\xi} - 2 \frac{b_2}{b_3} - \frac{a_2}{\mu_1 b_3 \xi} \right),$$

$$d_6 = m_{12} \left(2 \frac{1+\chi}{\xi} - n_1 \frac{b_2}{b_3} - \frac{a_2}{\mu_2 b_3 \xi} \right), \quad \chi = \frac{h_2}{a_1},$$

$$f_1 = \frac{K_0(k_1 a_1)}{K_1(k_1 a_2)}, \quad f_2 = \frac{K_1(k_1 a_1)}{K_1(k_1 a_2)}, \quad f_3 = \frac{I_0(k_1 a_1)}{I_1(k_1 a_2)}, \quad f_4 = \frac{I_1(k_1 a_1)}{I_1(k_1 a_2)},$$

$$f_{13} = \frac{K_2(k_3 a_2)}{K_1(k_3 a_2)}, \quad f_{14} = \frac{K_0(k_4 a_2)}{K_1(k_4 a_2)}$$

f_5, f_6, f_7, f_8 получаются соответственно из f_1, f_2, f_3, f_4 заменой k_1 на k_2 ; $f_9, f_{10}, f_{11}, f_{12}$ получаются соответственно из f_1, f_3, f_5, f_7 заменой a_1 на a_2 .

$\{\bar{A}\}$ – вектор-столбец, элементами которого являются коэффициенты

$$\bar{A}_1 = A_1 K_1(k_1 a_2), \quad \bar{A}_2 = A_2 I_1(k_1 a_2), \quad \bar{A}_3 = A_3 K_1(k_2 a_2) \xi_0, \quad \bar{A}_4 = A_4 I_1(k_2 a_2) \xi_0, \\ \bar{A}_5 = A_5 K_1(k_3 a_2).$$

Если имеет место скользящий контакт при $r=a_1$, $g_{11} = -2m f_2$, $g_{12} = 2m f_4$,

$$g_{13} = -n f_6, \quad g_{14} = n f_8, \quad \{p^*\} = \left\{ 0, \frac{\bar{P}}{\mu_2 \xi_0^2}, 0, 0, 0 \right\}.$$

Определив $\bar{A}_1, \bar{A}_2, \bar{A}_3, \bar{A}_4, \bar{A}_5$, можно получить трансформанты компонент напряжений и перемещений, а затем, пользуясь формулами обращения для преобразования Фурье, получить выражения для определения напряжений и перемещений в амортизирующем слое и окружающей среде. Окончательное решение будет зависеть от вида движущейся нагрузки.

Определитель матрицы $[G]$ (2.6) – симметричная относительно ξ функция – зависит от скорости движущейся нагрузки. Обозначим его через $\Delta(\xi, c)$. Если ни один корень уравнения $\Delta(\xi, c) = 0$ не лежит на действительной оси, то напряжения и перемещения можно получить численным интегрированием. Однако для некоторого значения скорости $c=c_*$ (на-

званной в литературе критической скоростью), в двух точках $\pm \xi_*$ ($\xi_* > 0$) могут выполняться равенства: $\Delta(\pm \xi_*, c) = 0$, $\Delta'_{\xi}(\pm \xi_*, c) = 0$.

Эта система трансцендентных уравнений и определяет критическую скорость c_* .

При $0 < c < c_*$, $\Delta(\xi, c) \neq 0$ для любых ξ из интервала $(-\infty, +\infty)$. В этом случае при решении задачи допустимо прямое и обратное преобразование Фурье.

При $c \geq c_*$ подынтегральные функции не удовлетворяют условию существования преобразования Фурье и все операции, производимые над уравнениями и интегралами, становятся формальными. В этом случае нарушаются условия единственности решения, что можно трактовать как неустойчивость. Можно показать, что при переходе через c_* появляется класс решений, содержащий незатухающие гармонические поверхностные волны, подобные волнам Лява, движущиеся вслед за действующей нагрузкой с той же скоростью. Амплитуда этих волн зависит от действующей нагрузки, постоянна вдоль оси оболочки и экспоненциально затухает при $r \rightarrow \infty$. Значение параметра c_* можно трактовать как точку бифуркации решения, при переходе через которую возникает неустойчивость движения.

3. Алгоритм отыскания c_* сводится к построению дисперсионной кривой $c \sim \xi$, описываемой уравнением $\Delta(\xi, c) = 0$. Из интервала $(0, \min c_j)$, ($j = 2, 3$) задаётся начальное значение скорости c_0 . Принимается шаг по $c - \Delta c$, шаг по $\xi - \Delta \xi$ ($\xi > 0$, $\Delta \xi > 0$). При некотором значении $c = c_0 + n \Delta c$ ($n = 0, 1, 2, \dots$) находятся два положительных корня уравнения $\Delta(\xi, c) = 0 - \xi_1$ и ξ_2 . Сужая интервалы поиска ($c_0 + (n-1)\Delta c < c < c_0 + n\Delta c$, $\xi_1 < \xi < \xi_2$) и уменьшая Δc и $\Delta \xi$, можно с достаточной точностью определить координаты наименьшей точки кривой $c \sim \xi$ (ξ_* , c_*). В данной работе уравнение $\Delta(\xi, c) = 0$ решалось методом половинного деления, определитель вычислялся методом Гаусса.

В качестве примера рассмотрим двухслойную оболочку, внутренний слой в которой – тонкая бетонная оболочка толщиной $h_1 = 0,02$ м и радиусом срединной поверхности $a = 1$ м, внешний – амортизирующий слой – пески средней плотности. Контакты между слоями и средой полагаем скользящими. Окружающая среда – насыпные грунты.

Параметры конструкции:

$$v_1 = 0,25, \mu_1 = 4,58 \cdot 10^3 \text{ МПа}, \rho_1 = 7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, c_{s1} = 802,5 \text{ м/с};$$

$$v_2 = 0,365, \mu_2 = 6,12 \cdot 10^2 \text{ МПа}, \rho_2 = 1,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, c_{s2} = 600 \text{ м/с};$$

$$v_3 = 0,294, \mu_3 = 1,094 \cdot 10^2 \text{ МПа}, \rho_3 = 1,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, c_{s3} = 270 \text{ м/с}.$$

На рисунке 1 построены кривые, описываемые уравнением $\Delta(\xi, c) = 0$.

Кривые 1 и 2 соответствуют $h_2/a = 0,1; 0,2$. Координаты наименьших точек кривых соответствуют критическим скоростям $c_{*1} = 239$ м/с (кривая 1) и $c_{*2} = 265$ м/с (кривая 2). Заметим, что в данном случае амортизирующий слой более жёсткий, чем окружающая среда. Увеличение толщины амортизирующего слоя при этом ведёт к повышению критической скорости.

Если заменить окружающую среду на алевролит ($\nu_3 = 0,2$, $\mu_3 = 2,532 \cdot 10^3$ МПа, $\rho_3 = 2,5 \cdot 10^3$ кг/м³, $c_{s3} = 1006,4$ м/с), более жесткую, чем амортизирующий слой, то, как показали расчёты, критическая скорость для той же конструкции при $h_2/a = 0,1$ составила 421 м/с. То есть, в этом случае, она оказалась больше. Однако увеличение толщины $h_2/a = 0,4$ привело к её снижению, и она составила 399 м/с.

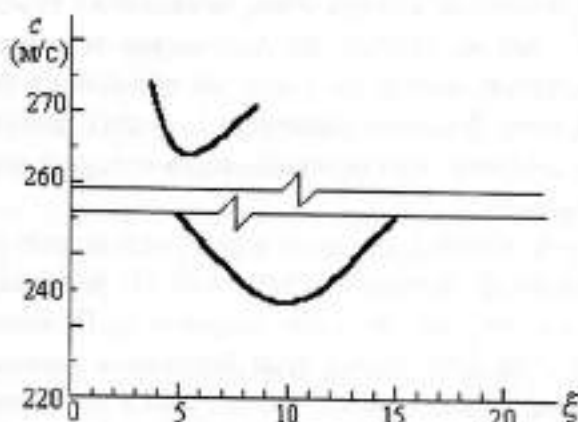


Рис. 1

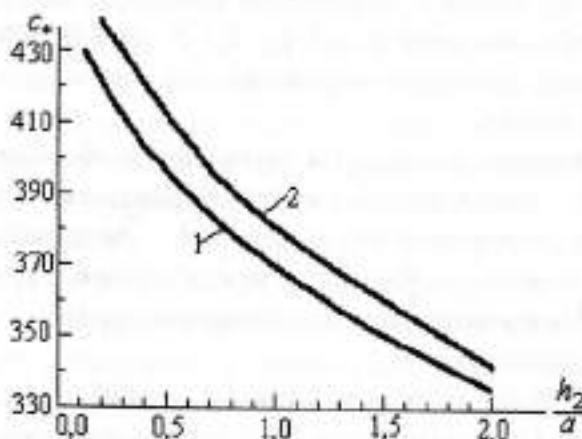


Рис. 2

При введении жесткого контакта между тонкостенной оболочкой и амортизирующим слоем наблюдается небольшое увеличение критической скорости, независимо от толщины слоя. Это наглядно видно из рисунка. Здесь изображены кривые изменения критической скорости нагрузки в зависимости от толщины амортизирующего слоя из песков средней плотности, контактирующего с бетонной оболочкой ($h_1=0,02$ м) в массиве алевролита. Кривая 1 соответствует скользящей связи оболочки со слоем, кривая 2 – жесткой.

ВЫВОДЫ

1 При расчёте транспортных тоннелей и трубопроводов глубокого заложения необходимо учитывать точку бифуркации. При переходе скорости движущегося объекта через эту точку в тоннеле могут возникнуть незатухающие вдоль его оси колебания. Это может привести к разрушению стенок, а при совпадении или близости частоты колебаний к собственной частоте движущегося объекта – к разрушению последнего.

2. При жестком контакте оболочки с амортизирующим слоем критическая скорость несколько выше, чем при скользящем.

3 Изменяя параметры амортизирующего слоя или оболочки, можно повысить или понизить критическую скорость до требуемого значения. Если тоннель заложен в слоистом массиве таким образом, что обделку, в качестве которой используется тонкая оболочка, окружает некоторый слой, контактирующий своей наружной поверхностью с однородной средой, то изменить критическую скорость можно только варьированием параметров оболочки. Если тоннель заложен в однородном массиве и обделкой его является тонкая оболочка с искусственно созданным амортизирующим слоем, то, исходя из конструктивных требований к величине критической скорости и прочности обделки, варьируя параметрами оболочки и слоя, можно добиться наиболее выгодного с экономической точки зрения их сочетания.

ЛИТЕРАТУРА

1 Львовский В.М., Опащенко В.И., Пожуев В.И. Установившиеся колебания цилиндрической оболочки в упругой среде под действием подвижной нагрузки // В сб. Вопросы прочности и пластичности. – Издательство Днепропетровского университета, 1974. – С. 99-110.

2. Пожуев В.И., Львовский В.М. Реакция цилиндрической оболочки в упругой среде на действие подвижных нагрузок // В сб. Известия вузов. Серия Строительство и архитектура. – 1976. – № 2. – С. 61-66.

3. Пожуев В.И. Действие подвижной нагрузки на цилиндрические оболочки в упругой среде // Строительная механика и расчёт сооружений. – 1978. – № 3. – С. 44-48.
4. Ержанов Ж.С., Айталиев Ш.М., Алексеева Л.А. Динамика тонкостенных трубопроводов. – Алма-Ата: Наука Казахской ССР, 1989. – 240 с.
5. Вольмир А.С. Нелинейная динамика пластин и оболочек. – М.: Наука, 1970. – 432 с.
6. Новоцкий В. Динамика сооружений. – М.: Госстройиздат, 1963. – 376 с.

УДК 621.311.153.001.26

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ НЕРАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКЕ

Б.Б. Утегулов, А.Б. Утегулов,
Д.Б. Утегулова, З.Д. Турсынбаева

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова

В.В. Ткаченко

Костанайский государственный университет им. А. Байтурсынова

Электрік жүктеменің ауданы бойынша біркелкі емес таратылу кезіндегі оптимальды параметрлерімен болатын электрмен жабдықтау жүйесін құрастыру әдісі әзірленген. Тұтынушыларға бөлек трансформаторлық қосалқы станциясын қондыру пайдалы екенін ескере отырып, "шектік қуат" ұғымы енгізілген, сонымен қатар әртүрлі ұзындықты, төмендетілген керікүлі және бірдей ұзындықты линия кезіндегі "шектік қуат" анықтамасы үшін математикалық анықтама берілген.

Разработан метод построения системы электроснабжения с оптимальными параметрами при неравномерно распределенной по площади электрической нагрузке. Введено понятие "граничной мощности", при которой становится выгодным устанавливать у потребителя отдельную трансформаторную подстанцию, и дано математическое выражение для определения "граничной мощности" при одинаковых длинах линий высокого и низкого напряжения и при разных длинах.

The method of construction of system of electrosupply with optimum parameters is developed at electric loading non-uniformly distributed (allocated) on the area. The concept "boundary power" at which begins favorable to establish at the consumer separate transformer substation is entered, and mathematical expression for definition "boundary power" is given at identical lengths of lines of a high and low pressure (voltage) and at different lengths.

Для основной массы предприятий нагрузка по их площади распределяется неравномерно. Отдельные потребители имеют разную по величине

не и характеру нагрузки и произвольно располагаются на территории предприятия. В этом случае для определения оптимальных параметров системы электроснабжения не применимы методы, описанные в [1].

Если при равномерно распределенной нагрузке количество трансформаторных подстанций (ТП) и места их расположения определяются довольно просто, то при неравномерно распределенной нагрузке эти параметры определять сложно. Существующие в настоящее время методы требуют большого объема вычислительных работ, всегда приходится сравнивать несколько вариантов. Причем полной уверенности в том, что в числе сравниваемых вариантов присутствует и оптимальный, нет.

При выборе оптимального варианта электроснабжения обязательно следует руководствоваться общими условиями оптимальности отдельных элементов системы. Рассмотрим эти условия.

1. Длина линий электропередачи должна быть не больше экономической:

$$l_0 = l_{\text{эк}}$$

Исходя из этого условия, территорию предприятия, следует разбить на квадраты со стороной равной $2r_{\text{н}}$, где $r_{\text{н}}$ – экономический радиус низкого напряжения.

2. Сумма моментов нагрузок всех потребителей для рассматриваемой площади должна быть минимальна:

$$\sum S_i \cdot l_i = \min,$$

где S_i – расчетная нагрузка потребителя, кВА;

l_i – длина линии электропередачи, км.

Из этого условия вытекает оптимальное место расположения трансформаторной подстанции, оно соответствует центру электрических нагрузок рассматриваемого участка площади предприятия [1].

Если потребители имеют незначительно отличающийся коэффициент мощности ($\cos \varphi = \text{const}$), то координаты центра электрических нагрузок рассматриваемого участка площади предприятия:

$$x_0 = \frac{\sum S_i \cdot x_i}{\sum S_i}; \quad y_0 = \frac{\sum S_i \cdot y_i}{\sum S_i}$$

Если значения коэффициента мощности потребителей отличаются значительно, то определяют координаты центра электрических нагрузок отдельно для активной и реактивной мощностей.

$$x_{\text{oa}} = \frac{\sum P_i \cdot x_i}{\sum P_i}; \quad y_{\text{oa}} = \frac{\sum P_i \cdot y_i}{\sum P_i}$$

$$x_{op} = \frac{\sum Q_i \cdot x_i}{\sum Q_i}; y_{op} = \frac{\sum Q_i \cdot y_i}{\sum Q_i}. \quad (5)$$

3. Для электроснабжения потребителей рассматриваемой площади следует принимать один трансформатор, мощность которого будет определяться суммарной расчетной нагрузкой потребителей с учетом коэффициента разновременности максимумов нагрузок.

Для потребителей с незначительно отличающимися значениями коэффициента мощности:

$$S_{mn} = K_{pm} \cdot \sum S_{pi}. \quad (6)$$

Для потребителей, у которых значения коэффициента мощности отличаются значительно:

$$S_{mn} = K_{pm} \cdot \sqrt{(\sum P_{pi})^2 + (\sum Q_{pi})^2}. \quad (7)$$

где K_{pm} – коэффициент разновременности максимумов нагрузок;
 P_{pi}, Q_{pi} – расчетные активная и реактивная мощности потребителей.

Покажем, что всегда выгодней применять один трансформатор, чем два и более меньшей мощности.

Основной технико-экономической характеристикой трансформатора является величина приведенных затрат, определяющая стоимость трансформации электрической энергии. С помощью этого критерия устанавливается оптимальное соотношение между конструктивными особенностями трансформатора и его рациональным использованием, т.к. приведенные затраты включают в себя как стоимость трансформатора так и годовые издержки на его эксплуатацию.

Рассматриваемые затраты в зависимости от максимальной нагрузки трансформатора можно выразить так:

$$Z_{tr} = p \cdot K_{tr} + P_x \cdot T_{вкл} \cdot Ц_0 + \left(\frac{S_{max}}{S_n} \right)^2 \cdot P_k \cdot \tau \cdot Ц_0, \quad (8)$$

где K_{tr} – стоимость трансформатора, тен;
 P_x, P_k – потери мощности в трансформаторе (в стали и в обмотках) при номинальных условиях работы, кВт;
 $T_{вкл}$ – годовое время включения трансформатора, ч;
 S_{max}, S_n – расчетная и номинальная мощности трансформатора, кВА;
 $Ц_0$ – стоимость потерь электроэнергии, тен/кВт·ч;
 p – норма отчислений от стоимости трансформатора;

$$p = E_{н} + p_{а},$$

где $E_{н}$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

$p_{а}$ – норма амортизационных отчислений.

Используя выражение (8) можно произвести оценку рациональности применения двух трансформаторов вместо одного равноценной мощности. С этой целью следует определить изменение приведенных затрат при переходе от одного трансформатора большей мощности к двум трансформаторам меньшей мощности. Это изменение при данной нагрузке S_{max} составит:

$$\Delta Z = p \cdot (2 \cdot K_{mp2} - K_{mp1}) + T_{вкл} \cdot \Pi_0 \cdot (2 \cdot P_{x2} - P_{x1}) + \tau \cdot \Pi_0 \cdot S_{max}^2 \left(\frac{2 \cdot P_{k2}}{S_{н2}^2} - \frac{P_{k1}}{S_{н1}^2} \right),$$

где индексы 1 и 2 относятся соответственно к параметрам трансформаторов большей и меньшей мощностей.

Из анализа справочных данных [2] следует, что для трансформаторов смежных мощностей, значения в скобках в выражении (9) больше нуля, т.е. $\Delta Z > 0$. Следовательно, замена одного трансформатора на два трансформатора меньшей смежной мощности ведет к увеличению приведенных затрат.

При числе трансформаторов больше двух разница в приведенных затратах увеличивается.

Таким образом, оптимальным вариантом электроснабжения участка площади предприятия будет являться вариант с установкой одного трансформатора максимальной для данной нагрузки мощности.

Наряду с определением зоны рационального использования трансформатора стандартной мощности можно поставить вопрос о его максимальной нагрузке S_{opt} . Эта нагрузка характеризуется минимальным значением приведенных затрат на трансформацию электрической энергии. Для определения S_{opt} необходимо значение приведенных затрат в отности к передаваемой мощности S и определить условия, при которых удельные затраты имеют минимальное значение.

$$Z_{уд} = \frac{Z_{mp}}{S}, \quad Z_{уд} = \frac{p \cdot K_{mp}}{S} + \frac{P_x \cdot T_{вкл} \cdot \Pi_0}{S} + S \cdot \frac{P_k \cdot \tau \cdot \Pi_0}{S_n^2}. \quad (10)$$

Возьмем производную от выражения (10) и приравняем ее нулю.

$$\frac{dZ_{уд}}{dS} = \frac{P_k \cdot \tau \cdot \Pi_0}{S_n^2} - \frac{p \cdot K_{mp}}{S^2} - \frac{P_x \cdot T_{вкл} \cdot \Pi_0}{S^2} = 0.$$

Отсюда наивыгоднейшая нагрузка рассматриваемого трансформатора:

$$S_{T, \text{опт}} = S_H \cdot \sqrt{\frac{P \cdot K_{\text{тпр}} + P_X \cdot T_{\text{вкл}} \cdot \Pi_0}{P_X \cdot \tau \cdot \Pi_0}} \quad (11)$$

Из выражения (11) можно определить значение стандартной номинальной мощности трансформатора соответствующей оптимальной расчетной нагрузке S_p :

$$S_H = S_p \cdot \sqrt{\frac{P_X \cdot \tau \cdot \Pi_0}{P \cdot K_{\text{тпр}} + P_X \cdot T_{\text{вкл}} \cdot \Pi_0}} \quad (12)$$

Выразим стоимость трансформатора $K_{\text{тпр}}$, номинальные потери мощности короткого замыкания P_K и холостого хода P_X в виде линейной зависимости от номинальной мощности трансформатора S_H [3]:

$$K_{\text{тпр}} = b_0 + b_s \cdot S_H; \quad P_K = b_{\text{ок}} + b_k \cdot S_H; \quad P_X = b_{\text{ох}} + b_x \cdot S_H,$$

где $b_0, b_{\text{ок}}, b_{\text{ох}}$ – независимые от мощности трансформатора составляющие соответственно стоимости трансформатора, потерь к.з. и х.х.; b_s, b_k, b_x – удельные показатели, зависящие от мощности составляющей стоимости трансформатора, потерь к.з. и х.х..

Если считать $b_{\text{ох}} = 0$ (около 2–3% P_X) [3], то с учетом приведенных выше формул выражение приведенных затрат трансформаторной подстанции (8) примет вид:

$$Z_{\text{тр}} = P \cdot (b_0 + b_s \cdot S_H) + T_{\text{вкл}} \cdot \Pi_0 \cdot (b_{\text{ок}} + b_k \cdot S_H) + b_k \cdot S_H \cdot \tau \cdot \Pi_0 \cdot \left(\frac{S}{S_H}\right)^2.$$

Удельные затраты:

$$z_{\text{уд}} = \frac{P \cdot (b_0 + b_s \cdot S_H)}{S} + \frac{T_{\text{вкл}} \cdot \Pi_0 \cdot (b_{\text{ок}} + b_k \cdot S_H)}{S} + S \cdot b_k \cdot S_H \cdot \tau \cdot \Pi_0.$$

Возьмем производную от удельных затрат и приравняем ее нулю:

$$\frac{dZ_{\text{уд}}}{dS} = \frac{P \cdot (b_0 + b_s \cdot S_H)}{S^2} + \frac{T_{\text{вкл}} \cdot \Pi_0 \cdot (b_{\text{ок}} + b_k \cdot S_H)}{S^2} + b_k \cdot S_H \cdot \tau \cdot \Pi_0 = 0,$$

$$S^2 \cdot b_k \cdot S_H \cdot \tau \cdot \Pi_0 = P \cdot (b_0 + b_s \cdot S_H) + T_{\text{вкл}} \cdot \Pi_0 \cdot (b_{\text{ок}} + b_k \cdot S_H).$$

Оптимальная нагрузка трансформатора, соответствующая минимуму удельных затрат:

$$S_{T, \text{опт}} = \sqrt{\frac{P \cdot (b_0 + b_s \cdot S_H) + T_{\text{вкл}} \cdot \Pi_0 \cdot (b_{\text{ок}} + b_k \cdot S_H)}{S_H \cdot b_k \cdot \tau \cdot \Pi_0}} \quad (13)$$

Приведенные затраты на передачу электрической энергии к отдельным потребителям в большой степени зависят от величины передаваемой мощности. Для потребителей находящихся на рассматриваемом участке площади предприятия может возникнуть задача: соорудить ли для данного потребителя свою ТП или запитать этот потребитель по линии низкого напряжения от другой ТП. Если ТП будут запитаны по магистральной схеме, то длина линий электропередачи высокого и низкого напряжений примерно одинакова, поэтому разница в приведенных затратах по указанным вариантам электроснабжения потребителя будет заключаться в разной стоимости капитальных затрат за счет установки ТП и разной стоимости линий электропередачи высокого и низкого напряжений, а также в разной стоимости потерь электрической энергии.

Приведенные затраты для варианта с линией высокого напряжения и ТП:

$$Z_1 = p_1 \cdot l \cdot \left(a_1 + \frac{c}{r_{01}} \right) + \left(\frac{S}{U_{n1}} \right)^2 \cdot \tau \cdot \zeta_0 \cdot 10^{-3} + p_2 \cdot K_{\text{ТП}} + p_x \cdot T_{\text{хол}} \cdot \zeta_0 + P_x \cdot \tau \cdot \zeta_0 \cdot \left(\frac{S}{S_N} \right)^2 \quad (14)$$

- где p_1, p_2 – норматив отчислений от стоимости линии и ТП;
 a_1 – постоянный коэффициент стоимости линии электропередачи;
 c – коэффициент стоимости линии электропередачи;
 r_{01} – активное удельное сопротивление линии электропередачи;
 l – длина линии;
 $K_{\text{ТП}}$ – стоимость трансформаторной подстанции;
 P_x, P_x – номинальные потери мощности холостого хода и короткого замыкания силового трансформатора;
 τ – время максимальных потерь;
 U_{n1} – номинальное напряжение линии электропередачи;
 S_N – номинальная мощность трансформатора;
 S – передаваемая мощность.

Приведенные затраты на передачу электрической энергии по линии низкого напряжения:

$$Z_2 = p_2 \cdot l \cdot \left(a_2 + \frac{c}{r_{02}} \right) + \left(\frac{S}{U_{n2}} \right)^2 \cdot \tau \cdot \zeta_0 \cdot 10^{-3} \quad (15)$$

Для малых значений мощности при одинаковой длине линий электропередачи приведенные затраты Z_2 будут меньше приведенных затрат Z_1 за счет меньшей стоимости капитальных вложений. С увеличением передаваемой мощности S большое влияние на величину приведенных за-

рат будет оказывать стоимость потерь электрической энергии. При некотором значении передаваемой мощности приведенные затраты по вариантам сравниваются, при дальнейшем увеличении мощности приведенные затраты Z_2 превысят приведенные затраты Z_1 . Представляет интерес определение граничного значения передаваемой мощности, при котором приведенные затраты Z_1 равны приведенным затратам Z_2 .

$$Z_1 = Z_2$$

$$p_1 \cdot l \left(a_1 + \frac{c}{r_{o1}} \right) + \left(\frac{S}{U_{n1}} \right)^2 \tau \cdot \Pi_o \cdot 10^{-3} + p_2 \cdot K_{\text{мн}} + p_x \cdot T_{\text{мн}} \cdot \Pi_o + \\ + P_x \cdot \tau \cdot \Pi_o \left(\frac{S}{S_n} \right)^2 = p_2 \cdot l \left(a_1 + \frac{c}{r_{o2}} \right) + \left(\frac{S}{U_{n2}} \right)^2 \tau \cdot \Pi_o \cdot 10^{-3} +$$

или

$$p_1 \cdot l \left(a_1 + \frac{c}{r_{o1}} \right) - p_2 \cdot l \left(a_1 + \frac{c}{r_{o2}} \right) + p_2 \cdot K_{\text{мн}} + p_x \cdot T_{\text{мн}} \cdot \Pi_o = \\ = S^2 \frac{r_{o2} \cdot l \cdot \tau \cdot \Pi_o \cdot 10^{-3}}{U_{n2}^2} - S^2 \frac{r_{o1} \cdot l \cdot \tau \cdot \Pi_o \cdot 10^{-3}}{U_{n1}^2} - S^2 \frac{P_x \cdot \tau \cdot \Pi_o}{S_n^2}$$

Отсюда граничное значение передаваемой мощности:

$$S_{\text{гр}} = \sqrt{\frac{p_2 \cdot K_{\text{мн}} + p_x \cdot T_{\text{мн}} \cdot \Pi_o + p_1 \cdot l \cdot \left[a_1 - a_2 - c \left(\frac{1}{r_{o2}} - \frac{1}{r_{o1}} \right) \right]}{\tau \cdot \Pi_o \cdot \left[\left(\frac{r_{o2}}{U_{n2}^2} - \frac{r_{o1}}{U_{n1}^2} \right) \cdot 10^{-3} - \frac{P_x}{S_n^2} \right]}} \quad (16)$$

При одинаковой длине линий высокого и низкого напряжений, при передаваемой мощности больше граничного значения $S_{\text{гр}}$ становится выгодней вариант с установкой у потребителя отдельной трансформаторной подстанции.

Будем считать, что сечение линий электропередачи и мощность силового трансформатора являются оптимальными для данного значения передаваемой мощности, и определяется формулой

$$S_{\text{опт}} = \frac{U_n}{r_o} \sqrt{\frac{p \cdot c \cdot 10^{-3}}{\tau \cdot \Pi_n}} \quad (17)$$

Тогда по выражению (17) для линии высокого напряжения:

$$S_{\text{опт}} = \frac{U_{\text{н1}}}{r_{\text{о1}}} \sqrt{\frac{P_1 \cdot c \cdot 10^{-3}}{\tau \cdot \Pi_{\text{н}}}}$$

Для линии низкого напряжения:

$$S_{\text{опт}} = \frac{U_{\text{н2}}}{r_{\text{о2}}} \sqrt{\frac{P_2 \cdot c \cdot 10^{-3}}{\tau \cdot \Pi_{\text{н}}}}$$

Отсюда,

$$\frac{U_{\text{н1}}}{r_{\text{о1}}} = \frac{U_{\text{н2}}}{r_{\text{о2}}}$$

Обозначим $U_{\text{н1}} = U_{\text{н}}$, $r_{\text{о2}} = r_{\text{о}}$, $K_{\text{T}} = \frac{U_{\text{н1}}}{U_{\text{н2}}}$ — коэффициент трансформации силового напряжения, тогда $r_{\text{о1}} = K_{\text{T}} r_{\text{о}}$, $U_{\text{н1}} = K_{\text{T}} U_{\text{н}}$.
С учетом этого выражение (16) примет вид:

$$S_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{P_2 K_{\text{mn}} + P_{\text{x}} T_{\text{вкл}} \Pi_{\text{н}} + P_1 l \left(a_1 - a_2 - \frac{c}{r_{\text{о}}} \frac{K_{\text{T}} - 1}{K_{\text{T}}} \right)}{\tau \Pi_{\text{н}} \left[\frac{r_{\text{о}} (K_{\text{T}} - 1)}{K_{\text{T}} U_{\text{н}}^2} l \cdot 10^{-3} - \frac{P_{\text{x}}}{S_{\text{н}}^2} \right]}}$$

По выражению (18) можно определить значение мощности потребления, при которой в пределах площади, охватываемой экономическим радиусом экономически выгодно установить у потребителя свою трансформаторную подстанцию.

Рассмотрим составляющие, входящие в выражение (18). Числитель подкоренного выражения:

$$P_2 K_{\text{mn}} + P_{\text{x}} T_{\text{вкл}} \Pi_{\text{н}} + P_1 l \left(a_1 - a_2 - \frac{c}{r_{\text{о}}} \frac{K_{\text{T}} - 1}{K_{\text{T}}} \right)$$

В этом выражении сумма составляющих представляет собой дополнительное повышение приведенных затрат за счет капитальных дополнительных вложений на трансформаторную подстанцию и линию высокого напряжения по сравнению с вариантом передачи электрической энергии по линии низкого напряжения. Составляющая, имеющая знак "минус", представляет собой уменьшение капитальных затрат по варианту с линией высокого напряжения и ТП по сравнению с вариантом с линией низкого напряжения за счет уменьшения сечения линии высокого напряжения по сравнению с линией низкого напряжения.

Сравнение двух указанных вариантов электроснабжения потребителя имеет смысл, если выражение (19) больше нуля, в противном случае, варианты сравнивать не имеет смысла.

Определим минимальное значение сопротивления линии r_0 , при котором выражение (19) имеет смысл, т.е. при котором увеличение стоимости за счет установки ТП будет равно экономии за счет уменьшения сечения проводников линии электропередачи.

$$p_2 \cdot K_{\text{тп}} + P_x \cdot T_{\text{вкл}} \cdot \Pi_0 + p_1 \cdot l \cdot (a_1 - a_2) \geq p_1 \cdot l \cdot \frac{c}{r_0} \cdot \frac{K_T - 1}{K_T}$$

$$r_0 \geq \frac{p_1 \cdot c \cdot l \cdot (K_T - 1)}{[p_2 \cdot K_{\text{тп}} + P_x \cdot T_{\text{вкл}} \cdot \Pi_0 + p_1 \cdot l \cdot (a_1 - a_2)] \cdot K_T} \quad (20)$$

Из выражения (20) видно, что значение удельного сопротивления r_0 зависит от длины линии. В пределах зоны ограниченной экономическим радиусом максимальное значение длины линии электропередачи будет составлять:

$$l_{\text{ж}} = \frac{\Delta U_{\text{доп}}}{\Delta U_{\text{отг.уд}}}$$

Тогда,

$$r_0 \geq \frac{p_1 \cdot c \cdot \Delta U_{\text{доп}} \cdot (K_T - 1)}{\left[p_2 \cdot K_{\text{тп}} + P_x \cdot T_{\text{вкл}} \cdot \Pi_0 + (a_1 - a_2) \cdot \frac{\Delta U_{\text{доп}}}{\Delta U_{\text{отг.уд}}} \right] \cdot K_T \cdot \Delta U_{\text{отг.уд}}} \quad (21)$$

По выражению (21) можно определить значение сопротивления линий низкого напряжения, при котором выражение (18) имеет смысл. Для кабельных линий 0,38 и 10 кВ значение коэффициентов a_1 и a_2 примерно одинаково, если линии выполняются кабелем одной марки, тогда $a_1 - a_2 = 0$.

Обозначим

$$\frac{K_T - 1}{K_T} = K'_T$$

С учетом этого выражение (21) упростится:

$$r_0 \geq \frac{p_1 \cdot c \cdot K'_T \cdot \Delta U_{\text{доп}}}{(p_2 \cdot K_{\text{тп}} + P_x \cdot T_{\text{вкл}} \cdot \Pi_0) \cdot \Delta U_{\text{отг.уд}}} \quad (22)$$

Из выражения (22) следует:

$$r_0 \cdot (p_2 \cdot K_{\text{тп}} + P_x \cdot T_{\text{вкл}} \cdot \Pi_0) \geq \frac{p_1 \cdot c \cdot K'_T \cdot \Delta U_{\text{доп}}}{\Delta U_{\text{отг.уд}}} \quad (23)$$

Выражение в скобках в левой части выражения (23) представляет собой составляющую приведенных затрат на трансформаторную установку не зависящую от нагрузки трансформатора. При оптимальной мощности, передаваемой по линии электропередачи и силовому трансформатору, существует соответствие между значением удельного сопротивления r_0 и номинальными параметрами силового трансформатора.

Рассмотрим случай, когда линия низкого напряжения 0,38 кВ выполнена кабелем марки ААШв, прокладываемым в траншее. Для возможности количественного анализа выражения (23) примем исходные данные:

- стоимость потерь электрической энергии $C = 4$ тен/кВт·ч;
- время максимальных потерь $\tau = 2000$ ч;
- время включения силового трансформатора $T_{вл} = 8760$ ч;
- коэффициент трансформации силового трансформатора $K_t = 25$;
- норматив отчислений от стоимости, с учетом затрат на эксплуатацию $p_1 = 0,17$, $p_2 = 0,213$;
- коэффициент $c = 249,9 \cdot 10^3$ тен·Ом/км²;
- коэффициент мощности нагрузки $\cos \varphi = 0,8$;
- допустимая потеря напряжения $\Delta U_{доп} = 5\%$.

Данные по стоимости силовых трансформаторов принимаем из [2] при переводе стоимости в тенге используем коэффициент $k = 150$.

Оптимальная удельная потеря напряжения в линии 0,38 кВ при указанных условиях определяется математической зависимостью

$$\Delta U_{доп} = 19,68 + 0,028 \cdot S.$$

При сравнении вариантов будем рассматривать вариант, когда линии высокого (10 кВ) и низкого (0,38 кВ) напряжений выполняются одним кабелем. Тогда максимальное сечение проводников кабельной линии 0,38 кВ составит для кабеля ААШв-1кВ 4×185 мм². Максимальная передаваемая по этому кабелю мощность составит 226,3 кВА.

$$\Delta U_{доп} = 19,68 + 0,028 \cdot 226,3 = 26,0 \text{ \%}/\text{км}.$$

Тогда значение правой части выражения (24) составит

$$\frac{p_1 \cdot c \cdot K_t' \cdot \Delta U_{доп}}{\Delta U_{оптуд}} = \frac{0,17 \cdot 249,9 \cdot 10^3 \cdot \frac{25-1}{25} \cdot 5}{26,0} = 7,84 \cdot 10^3.$$

Для всех стандартных значений сечений проводников с удельным сопротивлением r_0 можно вычислить по выражению (17) значения оптимальной мощности, по которому с учетом выражения (12) подобрать значение номинальной мощности силового трансформатора. По известным

данным r_c и параметров силового трансформатора можно вычислить значение правой части выражения (23). Сравнивая значения левой и правой частей выражения (23), можно определить при какой мощности становится целесообразной установка у потребителя отдельной ТП.

Результат таких вычислений для оговоренных выше условий сведем в таблицу 1.

Оптимальные параметры кабельных линий 0,38 кВ и силовых трансформаторов

Таблица 1

Сечение проводника, $F, \text{мм}^2$	Удельное сопротивление, $r_c, \text{Ом/км}$	Оптимальная передаваемая мощность, $S_{\text{опт}}, \text{кВА}$	Данные силового трансформатора				Комплексное значение $g_0(p_2 K_m + P_k T_1 D_0), \text{Ом} \cdot \text{тен} \cdot 10^2 / \text{км}$	Значение граничной мощности, $S_{\text{гр}}, \text{кВА}$
			$S_{\text{н}}, \text{кВА}$	$K_m, \text{тен} \cdot 10^3$	$P_{\text{н}}, \text{кВт}$	$P_{\text{к}}, \text{кВт}$		
10	2,94	9,4	25	175,5	0,14	0,6	49,48	98,3
16	1,84	15						
25	1,17	23,7						
35	0,84	33	40	181,5	0,19	0,88	26,74	107
50	0,59	46,9						
70	0,42	65,9	63	192	0,27	1,28	21,15	87,2
95	0,31	89,3	100	213	0,37	1,97	18,09	80,8
120	0,25	110,8						
150	0,2	138,5						
185	0,16	173	160	238,5	0,57	2,65	11,32	67,7
240	0,13	213	250	300	0,82	3,7	12,04	70,3

Из таблицы 1 видно, что для всех сечений кабеля ААШв выражение (18) будет иметь смысл. Определим для тех же сечений значения граничных мощностей по выражению (18), результаты занесем в таблицу 1. Из полученных результатов видно, что начиная с сечения 95 мм^2 становится выгодной замена кабеля 0,38 кВ на кабель 10 кВ и трансформатор 10/0,38 кВ, т.к. значение граничной мощности $S_{\text{гр}}$ становится меньше оптимальной нагрузки линии. Для кабелей с сечением проводников 70 мм^2 и ниже замена нецелесообразна, т.к. значение граничной мощности превышает оптимальную нагрузку линий.

Как следует из результатов определения граничной мощности, для питания потребителей, находящихся на расстоянии $l_{\text{к}}$ от трансформаторной подстанции, выгодней использовать отдельную ТП и линию вы-

сокого напряжения, если мощность потребителя превышает 80,8 кВт. Обозначим произведение граничной мощности $S_{гр}$ на экономическую длину линии $l_{эк}$ как граничный момент нагрузки $M_{гр}$.

$$M_{гр} = S_{гр} \cdot l_{эк}.$$

Граничный момент нагрузки для рассматриваемой площади территории предприятия будет являться при конструктивном одинаковом выполнении линий электропередачи, одинаковом характере изменения нагрузок и одинаковом коэффициенте мощности величиной постоянной. В примере, в рассматриваемом нами случае:

$$M_{эк} = 80,8 \frac{5}{26,0} = 15,54, \text{ кВА} \cdot \text{км}.$$

Используя значение $M_{эк}$, можно определить целесообразность установки отдельной ТП для потребителей, находящихся в пределах зоны ограниченной экономическим радиусом. Условие, при котором потребителей выгодней запитать от отдельной трансформаторной подстанции:

$$Q \geq \frac{M_{гр}}{l},$$

где Q – реактивная нагрузка потребителя, кВАр;

l – расстояние от потребителя до ТП питающей рассматриваемую территорию, км.

Расстояние l следует определять с учетом особенностей генплана предприятия, т.е. учитывать увеличение длины линии за счет планировки территории.

В общем случае длины линий высокого и низкого напряжений не равны. Как правило, длина линии высокого напряжения всегда больше длины линии низкого напряжения.

Если длину линии в выражении (14) обозначить l_1 , а длину линии в выражении (15) l_2 , то можно определить значение граничной, в случае разной длины линий, высокого и низкого напряжений.

$$S_{гр} = \sqrt{\frac{p_2 K_{min} + P_x T_{вкл} \tau_0 + p_1 \left[a_1 l_1 - a_2 l_2 - c \left(\frac{l_2}{r_{o2}} - \frac{l_1}{r_{o1}} \right) \right]}{\tau \tau_0 \left[\left(\frac{r_{o2} l_2}{U_{н2}^2} - \frac{r_{o1} l_1}{U_{н1}^2} \right) 10^{-3} - \frac{P_x}{S_n^2} \right]}}$$

Для конкретного потребителя с известной величиной нагрузки и расстояниями l_1 и l_2 нужно взять оптимальные для данной мощности параметры

метры линий и трансформаторной подстанции, подставить в выражение (27) и определить значение граничной мощности. Если значение граничной мощности получится меньше расчетной нагрузки, значит, у потребителя выгодней установить отдельную ТП, в противном случае потребителю выгоднее запитать по линии низкого напряжения. При этом длина линии низкого напряжения не должна превышать экономический радиус сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоров А.А. Теоретические основы электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергия, 1976. – 272 с.
2. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Промышленные электрические сети. / Под ред. Федорова А.А. и Сербиновского Г.В. М.: Энергия, 1980. – 576 с.
3. Гордиевский И.Г., Доркинандзе В.Д. Оптимизация параметров электрических сетей. – М.: Энергия, 1978. – 144 с.

УДК 621.316

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОСВЕННОГО КОНТРОЛЯ МОМЕНТА СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Ю.В. Кибартене

Павлодарский государственный университет
им. С. Торайгырова

Әртүрлі синхронды электроқозғалыштардың оралмасымдарының параметрлерін идентификациялау әдестері айтылған. Эксперименттік қондырғылардың схемалары беріліп, имитациялық эксперимент қорытындылары келтірілген.

Разработаны модели и программы для исследования свойств косвенного контроля момента синхронного электропривода. Отражены результаты имитационного эксперимента. Даны рекомендации по применению косвенного контроля момента.

The models and programs for research of properties of the indirect control of the moment of the synchronous electric drive are developed. The results of imitating experiment are reflected. The recommendations for application of the indirect control of the moment are given.

В [1-4] разработан метод косвенного контроля электромагнитного момента синхронного электропривода (ЭП) с трехфазным неявнополосным электродвигателем и функциональные схемы устройства. Необходимая информация об электромагнитном моменте трехфазного неявнополосного синхронного электродвигателя (СД) была получена на основе анализа известного уравнения угловой характеристики

$$M = \frac{3EU_c}{\omega_0 x_c} \sin \theta, \quad (1)$$

где U_c – фазное напряжение СД; E – э.д.с., индуцированная в обмотке статора потоком обмотки возбуждения; x_c – синхронное индуктивное сопротивление СД; θ – угол между векторами фазного напряжения СД и э.д.с.

Осуществлять контроль момента по уравнению (1) затруднительно, так как в него входят переменные E и θ , которые не поддаются непосредственному измерению. Для контроля момента СД целесообразно использовать известные паспортные данные двигателя и легко измеряемые величины, такие как фазные токи и напряжения. С этой целью проведен ряд преобразований уравнения (1) и получено искомое выражение

$$M = \frac{3p_n I_{1a} U_c}{2\pi f}, \quad (2)$$

где p_n – число пар полюсов СД, f – частота основной гармоники напряжения; I_{1a} – активная составляющая тока статора СД, которая может быть определена по выражению

$$I_{1a} = \frac{u \left(\frac{1}{T} \int_0^T i dt \right)}{U_c^2}, \quad (3)$$

где u – фазное напряжение; i – фазный ток; T – период основной гармоники напряжения.

В соответствии с выражениями (2) и (3) для определения электромагнитного момента синхронного ЭП с трехфазным неявнополюсным электродвигателем, необходимо произвести измерение мгновенного значения фазного напряжения, фазного тока и частоты основной гармоники напряжения, и произвести операции преобразования, перемножения, интегрирования и деления.

Для исследования статических и динамических свойств косвенного контроля момента СД использовались методы имитационного моделирования [5] с применением системы MATLAB. Разработанная имитационная модель, представленная на рис. 1, включает в себя стандартные элементы инструментальных библиотек системы: источники синусоидального напряжения, элементы измерений и вспомогательные элементы, а также дополнительно разработанные подсистемы: фазного преобразования координат ($a, b, c > d, q$; $d, q > a, b, c$), неявнополюсного СД (см. рис. 2). Разработана программа, выполняющая необходимую обработку результатов измерений, преобразования переменных, а также вычисления электромагнитного момента и ошибки косвенного контроля. Моделирование выполнено на основе численного метода Dormand-Prince с фиксированным шагом интегрирования принятым равным 0,001с, что составляет $1/20 \cdot T$ при частоте напряжения питания 50 Гц.

Исследования проводились для синхронного ЭП с неявнополюсным электродвигателем мощностью 3,5 кВт с демферными обмотками, расположенными по осям d и q . Результаты моделирования представлены на рис. 3 и 4. Проведен ряд экспериментов при изменении заданной нагрузки в диапазоне от $0,3 \cdot M_N$ до $1,5 \cdot M_N$. А также при частотном регулировании скорости СД при постоянной нагрузке равной M_N . Частота питающего напряжения изменяли в пределах от 15 до 50 Гц.

Анализ динамических характеристик показывает, что момент, деленный косвенным путем несколько запаздывает по отношению к действительному. Время запаздывания находится в пределах значений

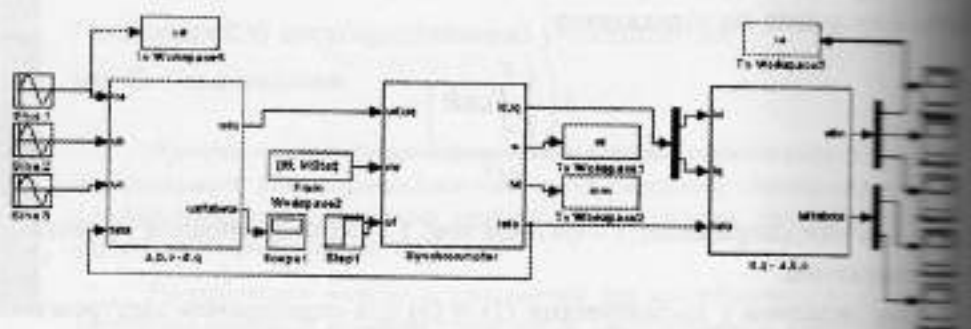


Рис. 1

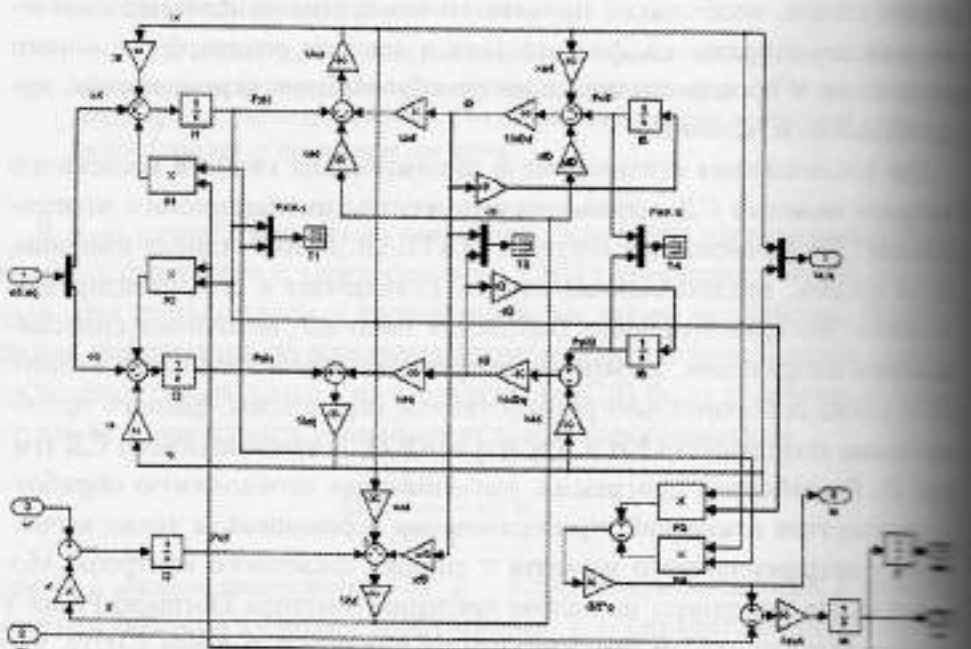


Рис. 2

0,02 с до 0,04 с, что соответствует одному и двум периодам основной гармонике напряжения питания соответственно. Запозывание является незначительным, так как электропривод является более инерционной системой.

Анализ полученных результатов моделирования в установившемся режиме работы синхронного ЭП показывает, что точность способа косвенного контроля момента зависит от нагрузки на валу электродвигателя.

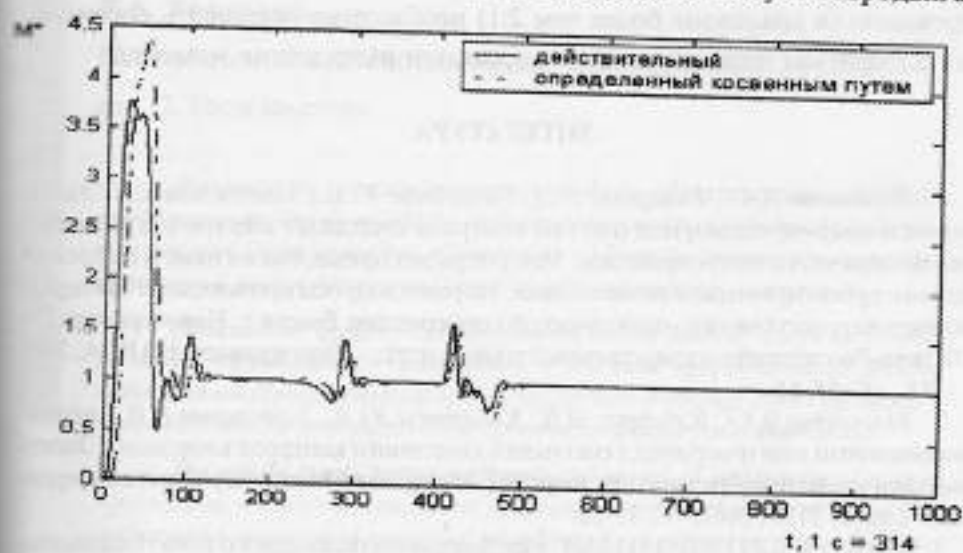


Рис. 3

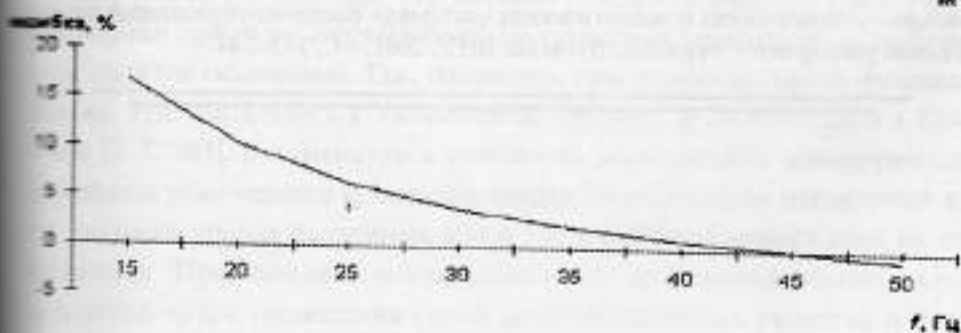
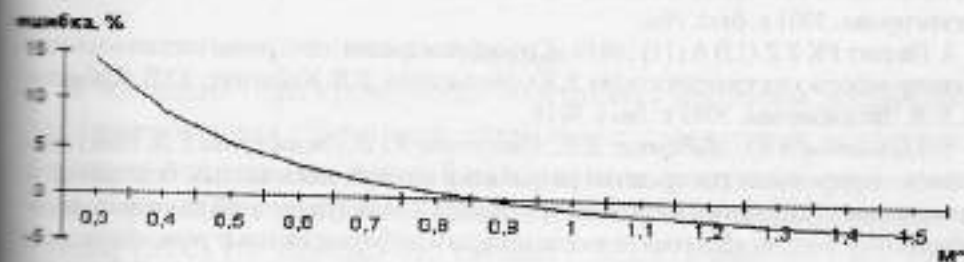


Рис. 4

теля. В зоне малых нагрузок ошибка имеет свои максимальные значения и не может быть принята как допустимая. В зоне нагрузки $0.6 \cdot M_n$ до $1.5 \cdot M_n$ ошибка косвенного контроля находится в пределах от 3,3% до -3%. При частотном регулировании скорости вращения СД ошибка косвенного контроля также имеет нелинейный характер зависимости. В диапазоне изменения частоты от 50 до 30 Гц погрешность изменяется до 4%. При малых нагрузках синхронного ЭП, а также при частотном регулировании (в диапазоне более чем 2:1) необходимо применять специальные алгоритмы дополнительной коррекции вычисления момента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мельников В.Ю., Кибартас В.В., Кибартене Ю.В., Зигангирова Е.В. Электронные и микропроцессорные системы контроля координат электрических машин для управляемых электроприводов. Микропроцессорные, аналоговые и цифровые системы проектирование и схемотехника, теория и вопросы применения // *Материалы международной научно-практической конференции*. Россия, г. Новочеркасск. В.Ч. Южно-Российский государственный университет. – Новочеркасск: НАВЛА, 2001 г. – Ч1 – С. 55–60.
2. Мельников В.Ю., Кибартас В.В., Кибартене Ю.В., Зигангирова Е.В. Автоматизированный электропривод с системами косвенного контроля координат. Электромеханические преобразователи энергии // *Материалы Международной конференции*. – Томск: ТПУ, 2001. – С. 81–82.
3. Патент РК KZ (13) A (11) 10361 Электропривод переменного тока Национальное патентное ведомство РК В.Ю. Мельников, В.В. Кибартас, Ю.В. Кибартене, Е.В. Зигангирова. 2001 г. бюл. №6.
4. Патент РК KZ (13) A (11) 10818 «Способ измерения электромагнитного момента синхронного электродвигателя» В.Ю. Мельников, В.В. Кибартас, Ю.В. Кибартене, Е.В. Зигангирова, 2001 г. бюл. №10.
5. Мельников В.Ю., Кибартас В.В., Кибартене Ю.В., Зигангирова Е.В. Имитационное моделирование как средство разработки экологически чистых, безопасных и экономичных технологий и техники. Сб. трудов 2 Международной научно-практической конференции «Математические модели и информационные технологии в социально-экономических и экологических системах» Восточноукраинский национальный университет Украина, Луганск: ВНУ, 2001 – С. 142–144.

УДК 624.131.556.3

ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ПОДТОПЛЕНИЯ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФУНДАМЕНТОВ С ОСНОВАНИЕМ

В.А. Козионов

Павлодарский государственный университет
им. С. Торайгырова

Факторлық математикалық модель «Іргетас пен негіздер» әрекеттесу жүйесіне негізделіп, табиғи техногендік жағдайында субасуы қорсетілген. Экстремалдық тіркесімнің су басу факторларының сандық алгоритмі модельдеу жүйесі және бағалау одістемесі келтіріледі.

Обоснована факторная математическая модель взаимодействия системы <фундамент – основание> в условиях природно-техногенного подтопления. Приводятся алгоритм численного моделирования системы и методики оценки экстремального сочетания факторов подтопления.

The article treats factor mathematical model of interaction of system <foundation – basis> in conditions of natural – technical rising of water. The author gives sequence of numerical modeling of system and methods of evaluation of urgent combination of rising water factors.

Введение

В последние годы существенно обострились проблемы эксплуатации урбанизированных территорий, связанные с проявлением подтопления. Развитие подтопления при неблагоприятном сочетании его факторов часто приводит к возникновению экстремальных геоэкологических ситуаций (ЭГС) [1]. Нередко это связано с недостаточно полным учетом специфики природно-техногенного подтопления территорий и особенностей грунтов оснований. Так, например, при проектировании фундаментов на чувствительных к увлажнению грунтах, в соответствии с Посо- бием [2, С.204], рекомендуется учитывать возможность одновременного замачивания основания сверху, постепенного накопления вла- жности, подъема уровня подземных вод и т.п. в наиболее невыгодных их ком- бинациях. Практическая реализация этого требования обычно осуще- ствляется путем проведения серий многовариантных расчетов и после-

дующего поиска неблагоприятных условий взаимодействия фундаментов и увлажняемого основания. Ввиду большого числа факторов, определяющих характер формирования зоны увлажнения, учесть их комплексно в каждом конкретном случае затруднительно. Поэтому в расчетной области увлажнения основания принимаются одна или несколько упрощенных идеализированных схем – эллипсоид увлажнения, трапеция и др. Осложняет ситуацию еще и такой факт, что деформации грунта при его увлажнении имеют пластический характер. Такое напряженно-деформированное состояние (НДС) системы <фундамент – основание> будет зависеть также от режима («траектории») увлажнения основания. Решение подобных задач возможно только численными методами. Исследование вопросов в такой постановке позволяет, в принципе, учесть большой круг факторов, отражающих особенности формирования основания. Вместе с тем возникает и ряд новых задач, связанных с комплексной оценкой их влияния на функционирование системы <фундамент – основание>:

- 1) уточнение расчетных моделей подтопления основания;
- 2) обоснование математических моделей взаимодействия фундаментов с подтапливаемым основанием по результатам расчетного НДС;
- 3) оценка и прогноз экстремальных сочетаний факторов подтопления.

Ниже, в развитие [3], рассматриваются методологические особенности решения указанных вопросов.

Особенности схематизации условий и процесса увлажнения оснований

Для рассматриваемых в настоящей работе задач необходимо комплексное исследование вопросов модельной схематизации фильтрации в зоне насыщения и влагопереноса в зоне аэрации, а также закономерностей эволюции их режимов. Это можно определить как *модельный режим водонасыщения оснований фундаментов*. Его реализацию рекомендуется проводить в два этапа.

На первом этапе проводится последовательная декомпозиция общего процесса водонасыщения основания на совокупность типовых и элементарных процессов влагопереноса и фильтрации. В ходе декомпозиции учитываются гидрогеологические, инженерно-геологические и технические условия, факторы и источники природного и техногенного подтопления объекта. Далее осуществляется схематизация природно-техногенных условий фильтрации [4, С.112] и влагопереноса [5, С.304].

основании фундаментов. Одновременно анализируются теоретические модели описания выделенных процессов водонасыщения основания. Модель функционирования типового гидрогеологического процесса представляется в следующем обобщенном виде [6, С.40]

$$X = \langle \Phi, H, P \rangle, \quad (1)$$

где Φ – множество элементарных процессов;

H – множество их параметров;

P – множество связей между ними;

$\langle \rangle$ – знак эмерджентности.

В качестве типовых гидрогеологических процессов рассматриваются: а) увлажнение грунтов зоны аэрации основания из различных природно-техногенных источников; б) равномерный подъем уровня подземных вод (УПВ) и его сезонные колебания; в) формирование верховодки и куполов УПВ от различных источников подтопления; г) подпор УПВ из затопленных котлованов, водохранилищ; д) подпор УПВ зданиями и сооружениями и др.

На втором этапе выполняется синтез выделенных типовых процессов водонасыщения основания. В основу синтеза подтопления принимаются: а) цель исследования взаимодействия фундамента и основания; б) взаимная совместимость и значимость типовых процессов водонасыщения; в) рассмотрение их развития в наиболее невыгодном сочетании для системы <фундамент – основание>; г) принципиальные схемы развития подтопления городских территорий и данные гидрогеологического мониторинга, д) апробированные на аналогах стадии возникновения и развития деформаций в подтапливаемом основании фундаментов.

Тогда обобщенный гидрогеологический процесс водонасыщения основания в рамках системного подхода [6, с. 40] можно представить в следующем виде

$$X(\bar{x}, t) = \sum_i X_i(\bar{x}, t) + \sum_j \varphi_j [X_i(\bar{x}, t), X_j(\bar{x}, t)] + \psi(\bar{x}, t), \quad (2)$$

где $\bar{x} = (x, y, z)$ и t – пространственные и временные координаты;

φ_j и $\psi(\bar{x}, t)$ – некоторые операторы, устанавливающие взаимное влияние функций $X_i(\bar{x}, t)$, $X_j(\bar{x}, t)$, ($i \neq j$) и их возможных комбинаций.

В результате формируется ряд обобщенных сценариев водонасыщения основания, т.е. совокупность моделей режима подтопления, которые используются в дальнейшем для численного эксперимента с сово-

купностью расчетных схем системы <фундамент – основание> методом факторного анализа [3].

**Факторная математическая модель взаимодействия системы
<фундамент – подтапливаемое основание>**

Подход к построению модели.

Используем для оценки качества функционирования системы совокупность показателей совместной работы основания и сооружения, реализуемых в подсистеме <фундамент> – осадки, крен, прогиб, выгиб, относительная разность осадок и др. Тогда представляется возможным ввести некоторый набор внутрисистемных целевых функций $Y_1(t), Y_2(t) \dots Y_n(t)$, характеризующих эти показатели

$$\vec{Y}(t) = F_t(\vec{U}, \vec{C}, \vec{X}t), \quad (3)$$

где $\vec{U}(t) = (U_1(t), U_2(t), \dots, U_{n_u}(t))$ – совокупность входных воздействий на систему;

$\vec{C}(t) = (C_1(t), C_2(t), \dots, C_{n_c}(t))$ – совокупность внутрисистемных показателей свойств и конструктивных параметров системы;

$\vec{X}(t) = (X_1(t), X_2(t), \dots, X_{n_x}(t))$ – совокупность параметров гидрогеологических воздействий на систему;

F_t – закон функционирования системы; t – время.

Рассмотрим вначале методологические особенности построения модели системы (3), полагая ее состоящей из двух подсистем: <здание> и <основание>

Подсистема <сооружение (здание)> состоит из двух подсистем второго порядка – <фундамент> и <надфундаментная конструкция>. Каждая из них, в свою очередь, представляется в виде совокупности таких конструктивных элементов (НКЭ) и расчетных конструктивных элементов (РКЭ). Комплекс РКЭ образует расчетные модели <фундамент> и <надфундаментная конструкция>

Подсистема <основание> представляется в виде совокупности систем различного порядка и элементов. При схематизации основания выделяются инженерно-геологические элементы (ИГЭ) и расчетные грунтовые элементы (РГЭ). Комплекс РГЭ образует геомеханическую модель основания. В рамках подсистемы <основание> можно выделить две взаимосвязанные подсистемы <грунты основания> и <подземные воды основания>. Подсистема <грунты основания> определяется уравнениями состояния скелета грунта. Подсистема <подземные воды основания> представляется в виде совокупности типовых гидрогеологических процессов

(ТГП). Комплекс ТГП определяет модель режима водонасыщения основания. Взаимодействие этих подсистем определяет модель основания.

Основная проблема построения модели системы <фундамент – подтапливаемое основание> состоит в установлении взаимодействия взаимосвязанных между собой полей напряжений и влажности. В таких условиях наиболее обоснованным, на наш взгляд, является переход к исследованию системы <фундамент – подтапливаемое основание> по следующей схеме:

объект → модель → алгоритм → программа →
→ анализ результатов → факторная модель системы.

Основное дополнение данной схемы к приведенной в [7, С.10] состоит в построении на завершающем этапе исследования факторной модели системы, позволяющей эффективно решать экстремальные задачи, осуществлять управление и прогнозировать динамику объекта.

Рассмотрим реализацию приведенной выше схемы моделирования.

Принципы построения факторной модели

1 Математические модели подсистем.

1.1 Модель основания принимается:

а) для зон неполного насыщения (азрации) грунт рассматривается как неводонасыщенный и квазиоднофазный. Система разрешающих уравнений для напряженно-деформированного состояния основания формируется с учетом зависимости физико-механических характеристик грунтов от влажности. Для описания деформируемости увлажняемых грунтов возможно использование различных моделей. При этом наиболее адекватными являются модели пластических сред с упрочнением [8, С.102]. Для описания движения влаги в основании используются модели влагопереноса в деформируемой пористой среде, например, [8, С.206]

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho^{sk}W) = \frac{\partial}{\partial x}(\rho^{sk}k_{Dx} \frac{\partial W}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho^{sk}k_{Dy} \frac{\partial W}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho^{sk}k_{Dz} \frac{\partial W}{\partial z}) + Q, \quad (4)$$

где W – влажность; ρ^{sk} – плотность скелета грунта;

Q – источник, сток; k_{Dx}, k_{Dy}, k_{Dz} – коэффициенты диффузии (влагопроводности) грунта по осям x, y, z . Эти коэффициенты, в общем случае, зависят от влажности и пористости грунта.

а) для зоны насыщения (фильтрации) используется, в общем случае, модель фильтрационной консолидации грунта [8, С.194].

В ряде практических расчетов возможно использование уравнений безнапорной фильтрации воды в зоне насыщения:

в рамках гидродинамического подхода [4, с. 91]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0,$$

где h – мощность вод от горизонтального водоупора,
 t – время; k_x, k_y, k_z – коэффициенты фильтрации водоносного грунта в направлении осей x, y, z ;
 – для гидравлической схемы Ж.Дюпюи (уравнение Буссинеска) [9, с. 88]

$$\mu(x, y) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k(x, y) h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k(x, y) h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \omega,$$

где h – мощность грунтовых вод от горизонтального водоупора;
 ω – инфильтрационное питание подземных вод; t – время;
 $k(x, y)$ – коэффициент фильтрации водоносного грунта;
 μ – коэффициент гравитационной емкости.

При использовании (4), (5) и уравнений фильтрационной консолидации наряду с обычными краевыми условиями необходимо поставить, основываясь на концепциях Ю.К.Зарепкого [8, с.209] и А.Ж. Муфтиева [4, с.98], граничное условие на неизвестной и подвижной границе подземных вод. Вид этих условий определяют специфику движения подземных вод и НДС основания.

1.2 Модель фундаментной конструкции формулируется в рамках модели основания как элемент неоднородности с повышенными, по сравнению с грунтом, характеристиками. Для гибких фундаментных конструкций используются различные дифференциальные уравнения. В наиболее адекватных моделях фундамент рассматривается в виде подсистемы <здание (сооружение)>

2 Моделирование взаимодействия полей напряжений и влажности

Рассмотрим основные принципы моделирования взаимодействия полей напряжений и влажности в основании фундаментов с использованием системотехнической терминологии [10]. Общим является наличие исходных полей напряжений и влажности в актуальный момент времени. В процессе моделирования, первоначально, т.е. при $t_1 > t_0$, изменяется поле влажности, а затем анализируется вариация поля напряжений.

Принцип Δt Определяются последовательные состояния объекта через заданные интервалы времени Δt . Реализация принципа осуществляется по схемам:

а) на первом шаге по времени Δt_1 фиксируется приращение $\Delta \sigma$, затем определяется изменение напряжений σ_t и объемной пластичности

формации ε_{i1}^p . На следующем шаге по времени Δt_2 при определении ΔW_2 , учитывается значение ε_{i1}^p и т.д. по принятому алгоритму

б) определяются поля влажности W_i для различных моментов времени без учета, при обосновании, изменений ε_{i1}^p . В соответствии с приращением ΔW_i производится последовательный перерасчет НДС системы.

Принцип δz . Определяет НДС системы только для особых состояний, т.е. для таких моментов времени t_i , где изменение состояния системы происходит скачкообразно. Принцип особых состояний δz имеет большое значение при многофакторном анализе системы <фундамент – подтапливаемое основание>

Смешанный принцип. Для части факторов расчет НДС системы ведется по принципу δz , а для остальных по принципу Δt . При этом оценку влияния видов гидрогеологических воздействий на НДС системы лучше осуществлять по принципу Δt , а последовательность их наступления и ретроспективный анализ – по принципу δz .

3 Построение факторной модели системы.

1) Для намеченных вариантов развития процесса подтопления формируются расчетные схемы и определяются граничные условия, моделирующие взаимодействие основания и фундамента.

2) Расчетная область основания и сооружения разбивается на совокупность узлов в МКР или конечных элементов в МКЭ. Для выделенных зон основания и фундамента назначаются параметры моделей используемых подсистем.

3) Выделяется совокупность факторов X_n , наиболее существенно влияющих на показатели $Y_n(t)$, устанавливаются верхние и нижние границы интервалов их изменения. Далее формируется матрица планирования численного эксперимента, т.е. численных значений факторов X_n и возможных их сочетаний на верхних и нижних границах.

4) Проводится серия численных геомеханических расчетов с использованием МКР или МКЭ для всех намеченных планом эксперимента расчетных схем.

5) Зависимость (3) представляется в виде следующего полинома [10]

$$Y_i = b_0 X_n + \sum_{i=1}^n b_1 X_i + \sum_{i,j=1}^n b_2 X_i X_j + \sum_{i=1}^n b_3 X_i^2 + \sum_{i,j,k=1}^n b_4 X_i X_j X_k + \sum_{i=1}^n b_5 X_i^3 + \dots, (7)$$

где X_1, X_2, \dots, X_n – варьируемые факторы, т.е. параметры, обусловленные подтоплением основания;

b_n – неизвестные коэффициенты при факторах X_n .

Линеаризацией и нормированием факторов X_i по способу [10] полином (7) на первом этапе анализа приводится к квазилинейному виду

$$Y_i = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n + b_{n+1} x_{n+1} + \dots + b_m x_m,$$

где $x_1 \dots x_n$ — основные нормированные факторы ядра плана эксперимента, $x_{n+1} \dots x_m$ — дополнительные факторы плана эксперимента, учитывающие взаимодействия основных факторов $x_1 \dots x_n$, b_0, b_1, \dots, b_m — коэффициенты при указанных факторах.

б) Коэффициенты b_n уравнения (8) определяются из следующего матричного соотношения [10, с.165]

$$\{b\} = ([x]^T [x])^{-1} [x]^T \{Y\},$$

где $[x]^T$ — транспонированная матрица варьируемых факторов.

Более подробно техника определения коэффициентов b_n , связанная с нормированием факторного пространства и линеаризацией полинома (8), приведена в [3].

Функция отклика и коэффициенты системы (3) зависят, в общем случае, от траектории изменения факторов X_i . Поэтому уравнения (7) и (8) рассматриваются нами как свособразный моделирующий алгоритм сборки системы <фундамент — основание> из совокупности ее подсистем и факторов. Проверка адекватности полученных функций $Y(t)$ проводится по методике, изложенной в [3].

Оценка и прогноз экстремальных сочетаний факторов подполосами

В качестве результата ставится проверка условий гомеостата системы [6, с.45] и др., т.е. оценка возможности функционирования системы в некоторых пределах $\bar{Y}_i < \bar{Y}(t) \leq \bar{Y}_e$, выход за которые приводит к возникновению экстремальной ситуации. Тогда задачи прогноза гомеостата системы на некоторый период времени $t_0 \leq t \leq t_c$ (t_c — срок службы изделия) можно сформулировать следующим образом:

а) при начальных условиях $\bar{X}_n(t_0)$ и $\bar{U}_n(t_0)$ найти такие параметры системы \bar{C} , которые при изменении $\bar{X}(t)$ по некоторому сценарию обеспечивают соблюдение требования $Y_0 < \bar{Y}(t) \rightarrow \max \leq \bar{Y}_e$ с учетом ограничений $\bar{X}(t)$.

б) при начальных сведениях об $\bar{X}_n(t_0)$, $\bar{C}_n(t_0)$ и $\bar{U}_n(t_0)$ проверить соблюдение условия $Y_0 < \bar{Y}(t) \rightarrow \max \leq \bar{Y}_e$ при изменении $\bar{X}(t)$ в заданных пределах.

в) при начальных условиях $\bar{X}_n(t_0)$, $\bar{C}_n(t_0)$ и $\bar{U}_n(t_0)$ найти такие параметры системы \bar{C} , которые при изменении $\bar{X}(t)$ по некоторому сценарию

обеспечивают соблюдение требования $Y_0 < \bar{Y}(t) \rightarrow \max \leq Y_0$ с учетом ограничений $\bar{X}(t)$.

Это постановки задач соответственно обеспечения безопасности системы на этапе ее проектирования, оценки риска подтопления существующей застройки, обеспечения «активной» безопасности системы при ее эксплуатации.

Максимальные значения (T), устанавливающие возможность сохранения гомеостата системы при подтопления, можно определить методом дифференцирования, множителей Лагранжа и др., в зависимости от вида ограничений.

Выводы

1. Обоснована концепция построения факторной математической модели взаимодействия фундаментов с подтапливаемым основанием, учитывающая особенности деформирования и режима природно-техногенного увлажнения грунтов.

2. Использование данной модели позволит эффективно исследовать экстремальные задачи взаимодействия системы <фундамент – подтапливаемое основание>, обосновывать принятие управляющих решений и прогнозировать динамику поведения объекта в условиях подтопления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галицкая И.В., Дзекцер Е.С., Чесалов С.М., Юганова Г.И. Методология оперативной оценки экстремальной геозкологической ситуации на базе экспертных систем. Проблемы и постановки задачи // Геозкология. – 1998. – №4. – С.102-111
2. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений. – М., Стройиздат, 1986. – 415 с.
3. Козимов В.А. Методика численного моделирования взаимодействия жестких ленточных фундаментов с подтапливаемым основанием // Наука и техника Казахстана. – 2003. – №3. – С.115-124.
4. Сологачев В.И. Физико-математические расчеты и компьютерное моделирование при защите от подтопления в городском строительстве. – Омск: СибАДИ, 2002. – 416 с.
5. Мустафаев А.А. Фундаменты на просадочных и набухающих грунтах. – М., Высшая школа, 1989. – 590 с.
6. Теоретические основы инженерной геологии. Социально-экономические аспекты / Под ред. акад. Сергеева Е.М. – М., Недра, 1985. – 259 с.
7. Плехотников К.Э. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент. Методология и практика. – М., Едиториал УРСС, 2003. – 280 с.
8. Зарецкий Ю.К. Вязкопластичность грунтов и расчеты сооружений. – М., Стройиздат, 1988. – 352 с.
9. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика. – М., Изд-во МГУ, 1995. – 368 с.
10. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М., Высшая школа, 2001. – 343 с.

УДК 691661.324.003.12

ОЦЕНКА ГЛИНЫ СУХАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ШАМОТА

М.К. Кудерин, Д.Б. Шайхина

Павлодарский государственный университет
им. С. Торайгырова

Жұмыста Павлодар облысының кен орындарында алынған отқа төзімді ақ сазды балшықты өнеркәсіптік өндірісте пайдалану және тапдау нәтижелері қарастырылған. Оның химиялық, минералогиялық құрамы және керамикалық қасиеттері көрсетілген.

В работе рассмотрены результаты анализа и перспективы использования в промышленном производстве беложгущихся огнеупорных глин месторождений Павлодарской области. Приведены химический, минералогический состав и керамические свойства.

In the given work the analyses results and perspectives of using in industrial production of white burning fireproof clays of Pavlodar region formations are considered, chemical, mineralogical composition and ceramic properties are given.

В настоящее время в связи с ростом экономики в РК существует необходимость в производстве отечественного строительного материала. С недавнего времени было выявлено Сухановское месторождение беложгущихся глин известное как огнеупорная глина, каолинитовая и имеющая светлую окраску.

В предыдущих статьях были опубликованы основные характеристики глины Сухановского месторождения, т.е. химический состав, минералогический, гранулометрический составы и основные керамические свойства.

Оценка для производства шамота

В лаборатории была изучена глина в качестве огнеупорного сырья.

1. Химико-механический состав глин

По химическому составу исследованная усредненная проба глин относится к основным (табл.1) [1] по огнеупорности и содержанию оксидов

Al_2O_3 , Fe_2O_3 и SiO_2 она может быть сравнима с известной Часов-Ярской глиной марки ЧО (табл.2).

Химический состав глины

Таблица 1

Содержание оксидов, мас. %							
SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	TiO_2	K_2O+Na_2O	$\Delta m_{пр}$
48,7-50,7	1,24	33,40	0,71	0,40	1,60	0,45	13,50

Характеристика глины

Таблица 2

Свойство глины	Показатели свойств
Содержание на прокаленное вещество, мас. %	
SiO_2	56,3
Al_2O_3	38,55
Fe_2O_3	1,43
TiO_2	1,85
Огнеупорность, °С	1730

Проба отличается незначительным содержанием щелочей ($K_2O+Na_2O-0,45\%$), однако оксида титана присутствует больше, чем в глине Часов-Ярского месторождения.

Минералогический состав глины был изучен термическим, рентгенофазовым и петрографическим методами анализов.

Дифференциально-термический анализ пробы проведен на приборе Курнакова.

По результатам определения фазового состава исследуемая глина относится к каолиновым глинам.

Результаты рентгенофазового анализа усредненной пробы глины также подтвердили присутствие в ней в виде основной составляющей - каолинита, очень мало примесей кварца и слюды типа мусковита (менее 5%).

В проходящем свете микроскопа установлено, что обе разновидности и усредненная проба глины состоят в основном из каолинита и близких к нему минералов группы каолинита с общей формулой $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Каолинит присутствует в виде анизотропных чешуек с нормальными показателями светопреломления $N_p - 1.561$ $N_g - 1.566$.

В виде аксессуарных минералов в пробе присутствуют кварц и слюда типа мусковита $KAl_2Si_7AlO_{10}(F, OH)_2$. Примеси кварца отмечены во фракции более 0.01 мм.

2. Гранулометрический состав глины

Грансостав усредненной глины определяли пипеточным методом [1].

Содержание фракций, %:

- более 0,01 мм – 3,69;
- 0,01–0,005 мм – 10,58;
- 0,005–0,001 мм – 22,47;
- менее 0,001 мм – 63,26.

Согласно классификации глин по содержанию тонкодисперсных фракций исследуемая глина относится к высокодисперсным глинам: содержание частиц размером менее 10 мк – более 85% ($10,58+22,47+63,26=96,31\%$), содержание частиц менее 1 мк – более 60% (63,26%).

3. Пластические свойства глины

Пластические свойства глины оценивали пластичностью и ее связующей способностью. В качестве отошающего материала при определении связующей способности использовали вольский песок.

Пластичность определена по методике согласно [2]. Результаты определения приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты определения пластичности масс
из смесей глины и вольского песка

Состав массы, %		Предел текучести, %	Предел раскатывания, %	Число пластичности
глина	песок			
100	–	46,8	34,2	12,6
60	40	35,0	23,2	11,8
40	60	23,2	14,2	9,0
20	80	13,9	10,7	3,0

Согласно классификации глин по степени пластичности, исследуемая порода ($\Pi = 12,6$) относится к умереннопластичным глинам ($\Pi = 7-15$).

Связующая способность глины определялась изменением пластичности массы при различном содержании в ней отошающих материалов в предельном количестве Вольского песка, при добавлении которого образуется тесто с числом пластичности не менее 7.

По связующей способности исследуемой глины (при 60% Вольского песка, связываемого глиной, число пластичности массы составляет 9,0) ее можно отнести к пластичным глинам (количество Вольского песка, связанного глиной, 20–60%).

4. Изучение поведения глины при воздействии температур

Определение огнеупорности.

Определение огнеупорности представленной глины проводилось по методике [3]. Показатель огнеупорности определен как среднее значение из 3-х измерений и составил 1730°C (табл.2).

Определение температуры спекания глины.

Температуру спекания глины определяли обжигом образцов в интервале 600–1400°C с последующим определением свойств. Результаты определения приведены в таблице 4.

Интервал спекания составляет 1250–1400°C.

Таблица 4

Свойства образцов, обожженных при различных температурах

Температура обжига, °С	Свойства образцов			
	Лин. усадка, %	Водопоглощение, %	Пористость, %	Кажущаяся плотность, г/см ³ , гт/см ³
600	3,3	30,2	43,5	1,44
800	4,5	30,7	43,8	1,43
1000	6,8	17,7	30,1	1,80
1100	11,9	17,0	30,5	1,80
1200	14,2	7,6	16,8	2,23
1250	18,1	2,1	5,5	2,61
1300	20,7	1,1	2,7	2,65
1400	22,2	1,5	3,6	2,39

5. Обжиг глины на шамот

Глину на шамот обжигали в виде кускового материала и брикетов, полученных из пластичных масс. Подсушенные образцы (прочность сжатия 0,7 Н/мм²) обжигали в силитовой печи при 1300°C, свойства образцов приведены в таблице №5.

Таблица 5

Свойства шамота

Свойства образцов	Наименование материала	
	кусовой материал	брикеты
Линейная усадка, %	20	18
Водопоглощение, %	1,5	2,5
Открытая пористость, %	0,3	5,3
Кажущаяся плотность, г/см ³	2,65	2,61
Предел прочности при сжатии, Н/мм ²	не опр.	26,0

6. Оценка глин в качестве огнеупорного сырья для производства шамота. По химическому составу усредненная проба глин относится к основному виду алумосиликатного сырья с содержанием Al_2O_3 на прокаленное вещество 38% [1]. Характеристика пробы приведена ниже (таблица 6).

Таблица 6

Характеристика глин

Массовая доля, % на прокаленное вещество				Огнеупорность, °С	Пластичность
Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2		
38,6	56,3	1,43	1,85	1730	13

Проба глин обладает высокой огнеупорностью ($> 1730^\circ C$), что является следствием низкого содержания оксидов щелочных металлов ($K_2O + Ca_2O - 0,45\%$).

Основным минералом, слагающим глинистую породу, является каолинит. В виде акцессорных минералов присутствуют кварц и слюда мусковита.

По содержанию тонкодисперсных фракций изученная проба относится к высокодисперсным глинам (содержание фракций менее 10 мкм составляет более 85%).

Наиболее дисперсные фракции состоят в основном из каолинита и 5-6% кварца.

По пластичности (число пластичности П-13) проба относится к умеренно-пластичной [2].

Глина с такой пластичностью может быть использована в производстве шамотных изделий в качестве связки.

По связующей способности изучения проба может связывать до 60% отоцеающего материала.

При определении температуры спекания глин установлено, что глина спекается в интервале $1250-1400^\circ C$. Интервал спекания составляет $150^\circ C$.

При обжиге в естественном виде (куски) или в виде брикетов при температуре $1300-1350^\circ C$ можно получить продукт обжига с водопоглощением менее 2%.

Интенсивное спекание глины при умеренных температурах $1300-1350^\circ C$ объясняется достаточно высоким содержанием TiO_2 в сырье (таблица 6).

В лабораторных условиях в электрической печи с силитовыми нагре-

Установлено, что при обжиге глины, как в виде естественных кусков, так и брикетов, получается шамот со значением водопоглощения менее 2%.

Исходя из вышесказанного, можно заключить, что изученная проба глины пригодна для использования в качестве сырья при производстве шамота и шамотных изделий разного класса.

На основании этих характеристик в соответствии с ГОСТами приведены основные направления использования в производстве строительных материалов.

Производство алюмосиликатных огнеупорных строительных материалов, т.к. огнеупорность изделий на каолиновой основе не ниже 1710°C, а огнеупорность глины Сухановского месторождения 1730°C. А также производство шамотных огнеупорных материалов (кирпича, марок ША, ШАК) [5] шамотных огнеупорных мертелей марок МШ-28, МШ-36 [4]

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 9169-75. Сырьё глинистое для керамической промышленности. Классификация.
 2. ГОСТ 21216.1-81 Сырьё глинистое. Метод определения пластичности.
 3. ГОСТ 4069-68. Изделия и материалы огнеупорные. Метод определения огнеупорности.
 4. ГОСТ 6137-80. Мертели огнеупорные алюмосиликатные. Технические условия.
 5. ГОСТ 390-96. Изделия огнеупорные шамотные и полужизельные общего назначения и массового производства.
-

УДК 621.3(0.84.2)

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТРОЙСТВ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОДВЕСОМ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ

Р.М. Мустафина, Г.М. Мустафина

*Павлодарский государственный университет**им. С. Торайгырова*

Мақалада электромагнитті қондырғылы құрылымдарға келетін болатын әсерлер; сыртқы нақты жағымсыз әсерлерден болатын виброқорғаушылық қасиеттеріне баға берілді.

В статье дана оценка виброзащитных свойств устройств с электромагнитным подвесом при внешних случайных воздействиях; определено неблагоприятное внешнее возмущение.

The article is focused on the estimation of vibration – resisting properties of devices with electromagnetic suspension under occasional influences; unfavourable outer rise is defined.

При создании оптимальных виброзащитных устройств, работоспособных при воздействии возмущений любого вида, представляет интерес определение наиболее неблагоприятных возмущений с тем, чтобы проектировать устройства активной виброзащиты с учетом этих неблагоприятных возмущений.

В виброзащитных устройствах в области гашения колебаний защищаемого от вибраций объекта должно выполняться следующее условие:

$$m_x(t) \equiv 0,$$

$$D_x(t) = \min,$$

где $X(t)$ – колебания виброзащищаемого объекта (выходной сигнал).

Используя принцип получения гарантированного результата [1], определим дисперсию колебаний виброизолируемого объекта при наиболее неблагоприятных внешних возмущениях и при недостаточной информации о входных сигналах (известно, что на вход системы поступают

некоррелированные случайные процессы с известными математическими ожиданиями и дисперсиями).

Максимальное значение дисперсии выходного сигнала наблюдается при резонансной частоте виброзащитного устройства, что следует из неравенства, полученного профессором Ф.А. Михайловым [1]:

$$D_y \leq |W(j\omega_1)|^2 D_x, \quad (2)$$

где ω_1 – резонансная частота рассматриваемой системы; D_x – дисперсия входного сигнала, D_y – дисперсия выходного сигнала, $|W(j\omega_1)|$ – амплитудно-частотная характеристика виброзащитного устройства.

Покажем, что действующее на виброзащитное устройство внешнее случайное возмущение вида

$$X(t) = X_1 \sin \omega_1 t + X_2 \cos \omega_1 t + m_2 \quad (3)$$

(X_1, X_2 – некоррелированные центрированные случайные амплитуды с дисперсиями D_x , m_2 – средняя составляющая случайного процесса $X(t)$) является наиболее неблагоприятным, то есть при этом возмущении дисперсия выходного сигнала будет максимальна, в выражении (2) достигается знак равенства.

Центрированная случайная составляющая выходного сигнала системы виброзащиты определяется следующим соотношением:

$$\overset{\circ}{X}(t) = |W(j\omega_1)| [X_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + X_2 \cos(\omega_1 t + \varphi_1)], \quad (4)$$

где φ_1 – фазовая характеристика виброзащитного устройства при частоте $\omega = \omega_1$.

Дисперсия выходного сигнала находится по следующей формуле (5):

$$D_y = M \left[\overset{\circ}{X}(t) \right] = M \left\{ |W(j\omega_1)|^2 [X_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + X_2 \cos(\omega_1 t + \varphi_1)]^2 \right\} = |W(j\omega_1)|^2 D_x.$$

При сравнении (5) с неравенством (2) следует вывод, что неблагоприятным внешним возмущением являются гармонические колебания с резонансной частотой виброзащитного устройства с некоррелированными случайными амплитудами и дисперсиями D_x .

Вследствие того, что виброзащитные системы в основном работают в условиях случайных возмущений, представляется необходимым произвести оценку виброзащитных свойств устройства электромагнитного подвеса в этих условиях.

Статистические свойства случайных процессов оцениваются при помощи следующих характеристик: математическое ожидание (среднее значение случайной величины) и корреляционная функция. В частотном

представлении случайного процесса в качестве его характеристики рассматривается спектральная плотность вместо корреляционной функции, характеризующей случайный процесс во временном его представлении.

По заданным статистическим характеристикам входного воздействия $y(t)$: математическое ожидание $m_y(t)$, спектральная плотность $S_y(\omega)$, — по передаточной функции линейной стационарной системы $W(s)$ определяются соответствующие характеристики выходного сигнала виброзащитного устройства с электромагнитным подвесом.

Математическое ожидание выходного случайного сигнала определяется согласно [1] следующей формулой:

$$M_x(t) = \sum_{r=0}^{\infty} \frac{m_y^{(r)}(t)}{r!} \Phi^{(r)}(0),$$

где $\frac{m_y^{(r)}(t)}{r!}$ — производные математического ожидания входного воздействия; $\Phi^{(r)}(0)$ — соответствующая производная передаточной функции системы при нулевом значении аргумента S .

Определив спектральную плотность выходной величины устройства виброзащиты, представляющую собой произведение модуля частотной характеристики системы и спектральной плотности входного сигнала

$$S_x(\omega) = |W(j\omega)|^2 S_y(\omega),$$

можно вычислить среднеквадратичное значение выходного сигнала, определяемого формулой [2]

$$\overline{x^2} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} S_x(\omega) |W(j\omega)|^2 d\omega$$

Эффективность виброзащиты определяется коэффициентом передачи, который в области виброгашения должен быть менее 0,1,

$$k = \frac{x^2}{y^2} < 0,1,$$

где $\overline{y^2}$ — среднеквадратичное значение входного сигнала, expressed в виде

$$\overline{y^2} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} S_y(\omega) d\omega$$

Если требуется осуществить виброзащиту объекта от колебаний в определенной области частот, то оценка виброизоляционных свойств электромагнитного подвеса производится по среднеквадратичным

ным значениям возмущающего воздействия и выходной величины, определяемым в заданном диапазоне частот действующих воздействий:

$$k = \frac{\bar{x}_1}{\bar{y}_1} = \frac{\int_0^{\infty} S_y(\omega) |W(j\omega)|^2 d\omega}{\int_0^{\infty} S_x(\omega) d\omega} \quad (11)$$

К помехам в устройствах активной виброзащиты электромагнитного подвеса относятся флуктуации управляющего напряжения, помехи от датчиков, которые всегда имеют место в системах автоматического регулирования. Поэтому необходимо знать статистические характеристики помех, которые также часто носят случайный характер, качественно и количественно оценить их влияние на характеристики виброзащитного устройства.

Проведем анализ виброзащитного устройства в режиме случайного возмущения при наличии помех; тогда при заданных спектральных плотностях полезного сигнала $S_x(\omega)$ и помехи $S_N(\omega)$, математических ожиданиях их M_x и M_N определяем соответствующие статистические характеристики выходного сигнала. Под полезным сигналом в системе виброзащиты понимается воздействие регулятора, сигналы датчиков о положении объекта виброзащиты. Математическое ожидание выходного сигнала $x(t)$ при постоянных значениях математических ожиданий входных сигналов определяется как сумма произведений математического ожидания сигнала и соответствующей данному сигналу передаточной функции

$$M_y = W(0)M_x + W_N(0)M_N, \quad (12)$$

где W — передаточная функция замкнутой системы; W_N — передаточная функция замкнутой системы, связывающая выходную величину $x(t)$ с помехой, приложенной в произвольной точке системы. Если помеха и полезный сигнал приложены в одной точке, то

$$W_N = W \quad (13)$$

Спектральная плотность выходного сигнала определяется по следующему выражению:

$$S_x(\omega) = S_y(\omega) |W(j\omega)|^2 + S_N(\omega) |W_N(j\omega)|^2, \quad (14)$$

с учетом (13) выражение (14) принимает вид

$$S_x(\omega) = [S_y(\omega) + S_N(\omega)] |W(j\omega)|^2 \quad (15)$$

Корреляционная функция и дисперсия выходного сигнала рассматриваемой системы представляются через спектральную плотность входного сигнала и передаточную функцию системы таким образом:

$$K_x(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} |W(j\omega)|^2 S_x(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega + \int_{-\infty}^{\infty} |W_N(j\omega)|^2 S_N(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega, \quad (26)$$

$$D_x = \int_{-\infty}^{\infty} |W(j\omega)|^2 S_x(\omega) d\omega + \int_{-\infty}^{\infty} |W_N(j\omega)|^2 S_N(\omega) d\omega \quad (27)$$

Следовательно, при применении частотной характеристики случайного сигнала и передаточной функции линеаризованного устройства виброзащиты с электромагнитным процессом можно оценить виброзащитные свойства электромагнитного процесса и влияние на эти свойства помех, вносимых элементами системы автоматического регулирования активной системы виброизоляции, при внешних воздействиях, имеющих случайный характер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рогов М.Ф., Булыгин В.С. Статистическая динамика и теория эффективных систем управления. – М., Машиностроение, 1981 – 312 с.
2. Воронов А.А., Титов В.К., Новогранов Б.Н. Основы автоматического регулирования и управления. – М., Высшая школа, 1977 – 519 с.

УДК 621.9.066-52

АРХИТЕКТУРА НАСТРАИВАЕМЫХ РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ В МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ С УСТРОЙСТВОМ ЧПУ

А.Ф. Проскуряков, О.В. Никитина

*Павлодарский государственный университет
им. С. Торайгырова*

Бұл мақалада сандық бағдарламалы көпмақсатты станокта өлшемдік байланысын келтіру құрылымы қарастырылған. Бұл құрылым графикалық және математикалық модельдердің анализ өткізу, өлшемдік байланысын келтіру дәлдік шектерін құрама тізбектерінің есебін шығаруға мүмкіндік береді.

В статье рассматривается структура настраиваемых размерных связей в многоцелевых станках с устройством ЧПУ, позволяющая в дальнейшем подойти к анализу графической и математической модели, к расчету допусков на составляющие звенья настраиваемых размерных связей.

The structure of tune dimension connections in multifunction machines with the apparatus of digital program control is shown in this article. This structure will allow in the future to get to the analysis of graphic and mathematical models, to the calculation of passes on component links of tune dimension connections.

Появление и последующее развитие станков с устройством ЧПУ в мире изменило архитектуру настраиваемых размерных связей в станках-автоматах и полуавтоматах. Эти изменения в целом характеризуются следующими тремя факторами.

1. Настраиваемые размерные связи в станках с УЧПУ обогатились принципиально новой терминологией. Здесь прочно закрепились и получили законодательную базу понятия систем координат станка (СКС), инструмента (СКИ), детали (СКД) и характерных точек станка, к которым относятся: ноль станка, ноль рабочего органа, фиксированное и исходное положения рабочего органа и др. Между этими системами и характерными точками на этапе разработки технологического процесса и управляющих программ (УП) нормируются строго определенные размерные связи, которые настраиваются в процессе наладки станка.

2. Изменилось материальное представление звеньев размерных связей. Вместо размеров профиля кулачка, копира, плеч рычагов и т.п. каждое звено размерных связей в станке с УЧПУ представлено в виде числовой информации, которая вводится и постоянно хранится в памяти устройства ЧПУ.

3. И наконец изменились источники погрешностей, влияющих на точность настройки размерных связей. Главенствующую роль здесь стали играть факторы, оказывающие влияние на точность автоматической измерительной системы станка, на точность позиционирования рабочих органов, погрешности конечных элементов кинематических цепей (передачи винт-гайка, шестерня-рейка) и др.

Несмотря на более чем полувековой период развития станков с УЧПУ, анализу общей архитектуры настраиваемых размерных связей, вопросам оптимизации их структуры и методов настройки, изучению механизма формирования погрешности замыкающих звеньев, источников возникновения погрешностей, представлению погрешности каждого звена размерных связей в виде графических и математических моделей, целенаправленному системному планированию последующих экспериментальных работ и, наконец, количественной оценке этих погрешностей до настоящего времени не уделено должного внимания. От указанных факторов зависят не только последующие показатели точности выполнения технологической операции, их стабильность, но и эффективность использования дорогостоящего оборудования за счет сокращения потерь рабочего времени на его наладку, переналадку и подналадку. Поэтому успешное решение всех выше перечисленных задач на теоретическом, конструктивном и практическом уровнях представляет собой определенную научную и практическую ценность.

В работах [1, 2] рассмотрены общая архитектура и вопросы формирования погрешностей настраиваемых размерных связей в токарных станках с устройством ЧПУ. Анализ настраиваемых размерных связей в других типах станков с устройством ЧПУ показывает, что их общая архитектура не претерпевает существенных изменений. Поэтому рассмотренную архитектуру настраиваемых размерных связей в токарном станке [3] можно принять в качестве базовой. С этой позиции проанализируем настраиваемые размерные связи в типовой компоновке сверльно-фрезерно-расточного станка модели 2206ВМФ4 с устройством ЧПУ 2С42. Станок имеет два подвижных рабочих органа, шпиндельную бабку с движением по координате Y и стол с движениями по координатам X

Z и поворотом по координате B (рисунок 1). Верхнее крайнее положение шпиндельной бабки и левое переднее положение стола приняты конструктором за нулевые. Рабочая зона станка имеет вид прямоугольного параллелепипеда, размеры сторон которого определяются станочными параметрами P_{xz} , P_{yz} , P_{xz} , постоянно хранящимися в памяти устройства ЧПУ. Так как в многоцелевом станке оба рабочих органа являются подвижными, то необходимо в первую очередь уточнить положение нуля станка, с которым увязывается автоматическая измерительная система и соответственно начало СКС.

Привяжем к характерной точке шпиндельной бабки, лежащей на пересечении торцевой поверхности шпинделя и его оси СКИ, а к характерной точке стола, лежащей на пересечении его оси с зеркалом – систему координат стола (СКСт), как промежуточную систему между СКС и СКД. Так как положение нуля станка (нуля СКС) определяют нулевые положения рабочих органов, то с учетом этих положений воспользуемся правилом параллельного переноса СКИ и СКСт по неподвижным координатам до их совмещения. Так СКСт будем перемещать по оси Y вверх, а СКИ по координатам X и Z соответственно влево и вперед. Совмещение этих систем координат произойдет в точке O_c , лежащей в вершине 7

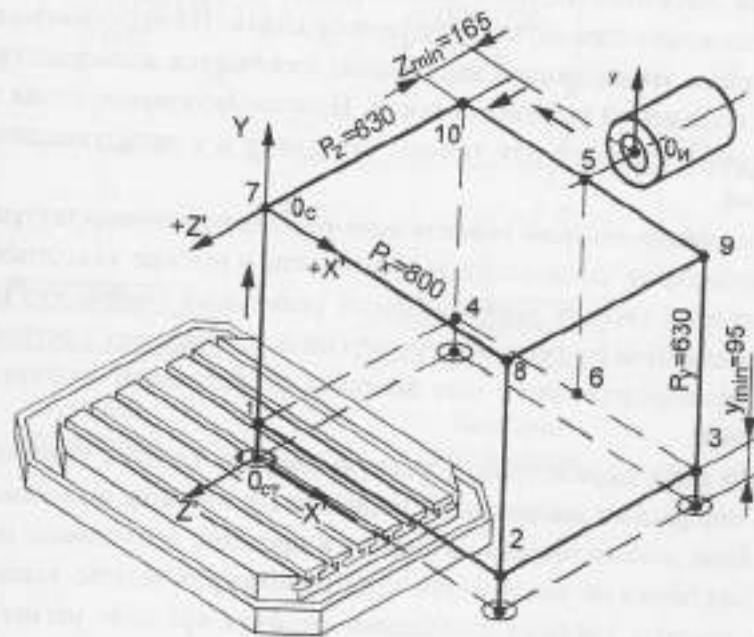


Рис. 1. К определению положения нуля СКС

рабочей зоны станка. Эта точка и будет соответствовать положению нуля СКС, т.к. является единственной общей точкой, к которой осуществляется привязка измерительной системы и от которой ведется отчет перемещений рабочих органов при начале их движения из нулевых положений.

Три размера P_{x_0} , P_{y_0} и P_{z_0} , определяющие рабочую зону станка, являются исходными звеньями, с которых, как и в токарном станке начинается настройка размерных связей. Дополнительно к ним следует указать еще два размера, являющихся техническими характеристиками станка: минимальное расстояние от торца шпинделя до оси стола (или аналогично до боковой грани рабочей зоны станка) z_{\min} и минимальное расстояние от оси шпинделя до зеркала стола y_{\min} . Последний параметр характеризует величину зависания рабочей зоны над зеркалом стола. Так же как и в токарном станке, все указанные параметры в технической документации приводятся в приближенном виде, т.е. не подвергаются точной аттестации на заводе-изготовителе.

В многоцелевых станках, как правило, нулевое и исходное положения рабочих органов совмещены. Это связано с тем, что на многоцелевых станках трудоемкость обработки детали исчисляется десятками минут, а при снижении частоты замены заготовок, разделять нулевое и исходное положения становится не целесообразным. Начало работы станка по командам управляющей программы начинается непосредственно из нулевых положений рабочих органов. Нулевое положение стола является достаточно удобным для замены заготовки и с эксплуатационной точки зрения.

В многоцелевых станках значительно расширена номенклатура станочных параметров, создающих вариантность в выборе исходных значений некоторых звеньев настраиваемых размерных связей, что позволяет в определенной степени оптимизировать сам процесс настройки, связанные непосредственно с ним вопросы последующей эксплуатации оборудования.

К такого рода параметрам в первую очередь следует отнести возможность оцифровки накопителей координат в нулевом положении рабочих органов любым числом со знаком в пределах допустимых перемещений. Практическую значимость этих параметров можно установить на основе анализа текущих положений рабочих органов, регистрируемых автоматической измерительной системой станка и визуализируемых на экране дисплея (рисунок 2).

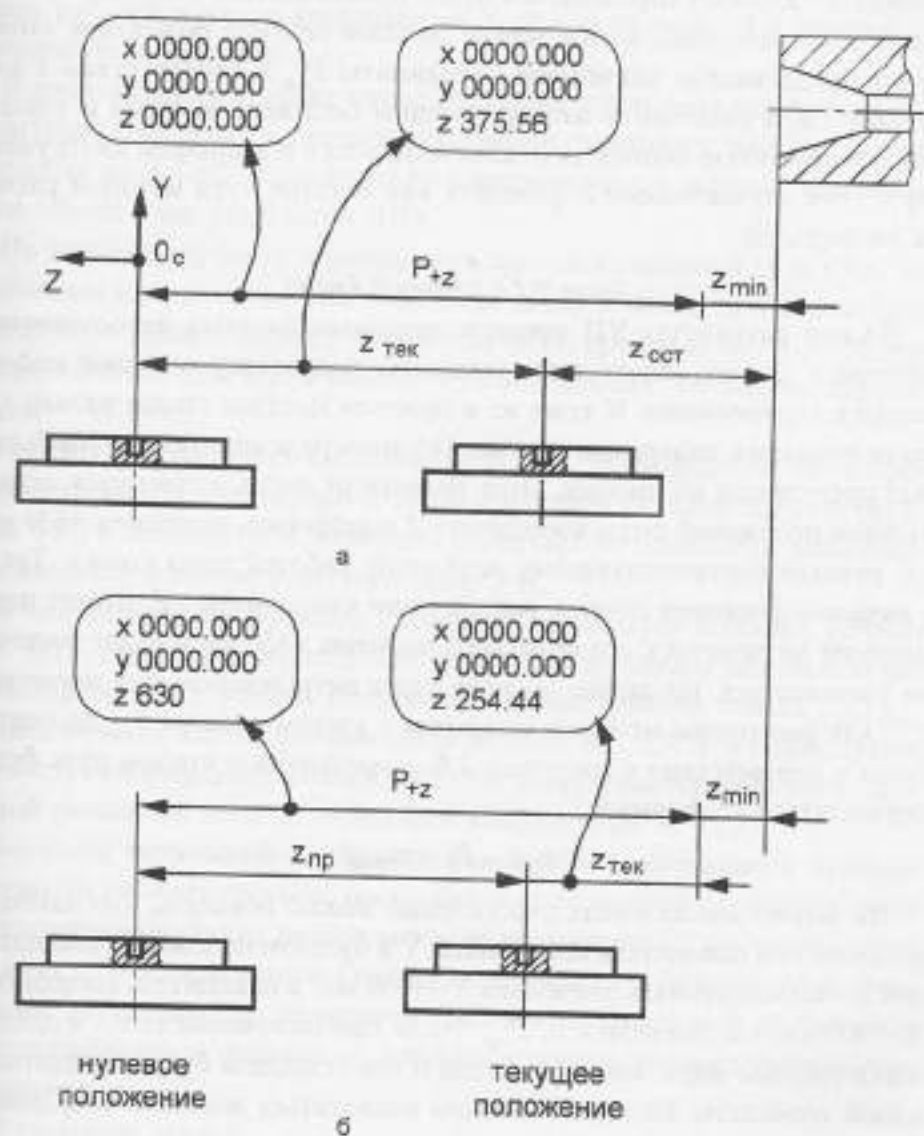


Рис. 2. Изменение физического смысла звеньев размерных связей от способа отсчета накопителей координат

Пусть в нулевом положении стола оцифровка координаты Z производится и на экране дисплея высвечивается значение $Z = 0$. Тогда началом единственно возможного направления движения стола в отрицательной координате $-Z$ отсчет перемещения будет производиться от нулевого значения этой координаты. На экране дисплея текущее положение стола будет представлено значением координаты $z_{тек}$ в соответствии с рисунком 2.а, а расстояние между текущим положением стола и торцевой поверхностью шпинделя (в конечном итоге и вершиной инструмента) в этом случае можно определить как остаток пути методом разности по формуле

$$z_{ост} = P_z - z_{тек} + z_{min}.$$

Но при разработке УП предпочтительным является использование размера $z_{ост}$, а его расчет лишь усложняет подготовку исходной информации к кодированию. К тому же в процессе наладки станка размер $z_{ост}$ легче поддается измерению при необходимости и желательно, чтобы он был представлен на дисплее. Этот недостаток легко устраняется, если в нулевом положении стола координату Z оцифровать значением $z_{тек}$, т.е. равным соответствующему параметру рабочей зоны станка. Тогда с началом движения стола в направлении координаты $-Z$ отсчет перемещения начинается с его исходного значения $+630$ мм и будет постепенно уменьшаться. На экране дисплея будет визуализироваться значение $z_{тек}$ как расстояние от торца шпинделя с учетом размера $z_{мин}$ до вершины инструмента в соответствии с рисунком 2.б, а пройденный столем путь будет определяться по формуле

$$z_{пр} = P_z - z_{тек}.$$

На основе аналогичных рассуждений можно показать, что рационально накопитель координаты Y в нулевом положении торцевой бабки оцифровать значением $Y = +630$ мм, а накопитель координаты $X = -400$ мм, т.е. значением $0,5P_{xx}$. Тогда при положении стола в одной части рабочей зоны, когда ось стола и ось шпинделя будут находиться в одной плоскости, на экране дисплея высветится значение координаты $X = 0$.

Оцифровку накопителей координат в нулевом положении рабочих органов следует считать как один из возможных вариантов систематизации СКС по отдельным координатам, что соответствует варианту «плавающего нуля». Рассмотренный вариант реализуется легко при наладке станка, а именно: в процессе настройки размерных параметров

Областью рационального применения этого варианта с учетом вышеизложенного следует считать случаи, когда смещение нуля по отдельным координатам производится из вершины 7 в другие какие-либо вершины рабочей зоны по координатам X , Z или из точки 5 в точку 6 по координате Y (рисунок 1).

В многоцелевых станках кроме описанного варианта оцифровки накопителей координат в нулевом положении существует еще два метода смещения нуля СКС по отдельным координатам с помощью программного обеспечения устройства ЧПУ

По второму варианту планируемые значения смещений нуля СКС по отдельным координатам при обработке деталей вводятся в специально отведенную область памяти устройства ЧПУ (функции $G71 - G75$) при наладке станка. Для этого выделяется специальный массив D – корректоров.

По третьему варианту смещение нуля СКС производится чисто программируемым способом, при котором и команда на смещение нуля (функция $G92$) и планируемые величины смещений по отдельным координатам вводятся в соответствующий кадр УП.

С помощью процедур ввода станочных параметров в память устройства ЧПУ, оцифровки накопителей координат в нулевом положении рабочих органов и с учетом технических характеристик станка Z_{min} , Y_{min} устанавливается односторонняя связь между СКС, СКИ и промежуточной системой координат стола СКСст, т.е. настраивается одна ветвь замкнутой размерной цепи по отдельным координатам X , Y , Z .

Без учета возможной оцифровки накопителей координат в нулевом положении рабочих органов, настройка односторонней размерной связи в многоцелевом станке практически не отличается от настройки этой же связи в токарном станке. Однако дальнейшее окончательное формирование настраиваемых размерных связей в многоцелевом станке имеет принципиальное отличие от токарного станка, которое заключается в следующем

В токарном станке:

- настройка размерных связей производится полностью в процессе наладки станка,
- действие этих связей проявляется при смене режущего инструмента в рабочей позиции, при перемещении рабочего органа в режиме ручного управления.

В многоцелевом станке:

– вторая ветвь размерных связей (замкнутой размерной цепи) в процессе наладки настраивается частично, т.е. в память устройства ЧПУ вводятся лишь значения отдельных звеньев: вылеты режущих инструментов и планируемые при обработке УП смещения нуля по отдельным координатам;

– в режиме ручного управления рабочими органами действие второй ветви размерных связей не проявляется;

– окончательно вторая ветвь размерных связей формируется и начинает действовать по командам УП в процессе ее отработки.

Указанные принципиальные различия в настройке второй ветви размерных связей обусловлены тем, что количество используемых режущих инструментов в наладке многоцелевого станка на порядок выше, чем в токарном станке и применение в этом случае метода пробных проходов при аттестации их вылетов становится крайне неэффективным из-за значительных затрат времени и соответственно снижению производительности станка.

С учетом указанных особенностей окончательной настройке размерных связей в многоцелевом станке и требований обеспечения их высокой точности возникает объективная необходимость точной аттестации параметров P_x, P_y, P_z и технических характеристик станка z_{min}, y_{min} на этапе настройки формирования односторонней размерной связи между СКС, СКИ и СКСт. Точная аттестация параметров P_x, P_y и P_z может быть выполнена с помощью измерительной системы станка. Аттестацию технических характеристик станка z_{min}, y_{min} можно выполнить с помощью оправок, блоков концевых мер, универсальных измерительных средств, что касается звеньев второй ветви размерных связей, то вылеты режущих инструментов определяются с помощью специальных точных измерительных приборов вне станка, а значения смещения нуля точно заданных размеров, указанных на чертеже детали.

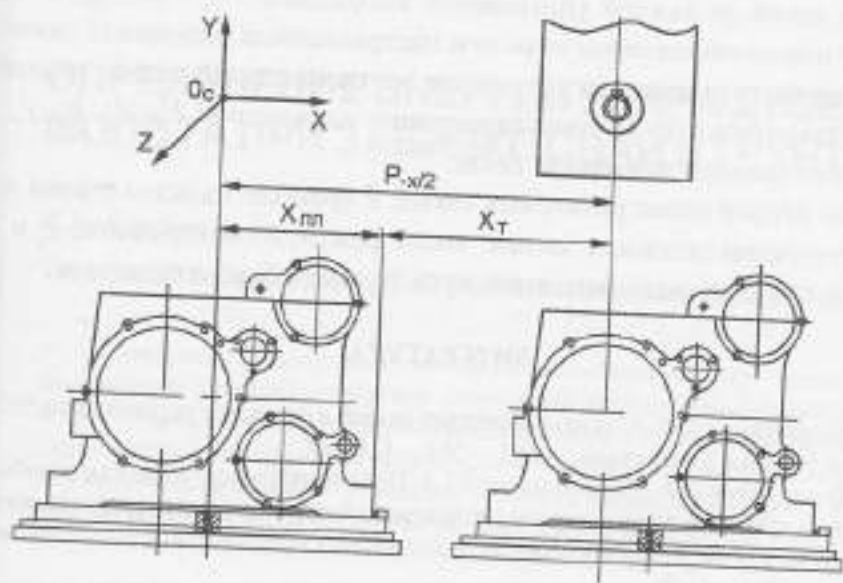
Таким образом, общая архитектура настраиваемых размерных связей в многоцелевом станке может быть представлена тремя замкнутыми размерными цепями (рисунок 3):

по координате Z: $P_z - z_{min} - z_n - z_{sk} - z_m$;

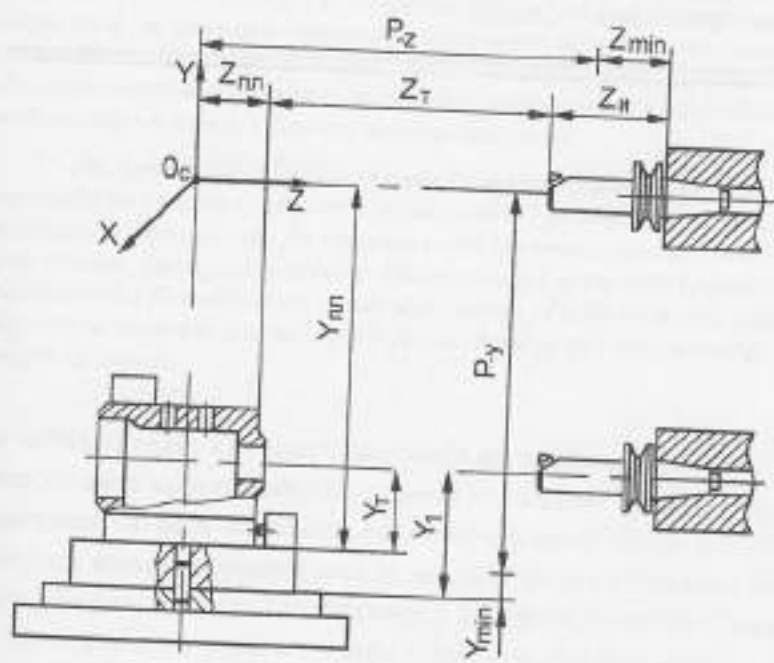
по координате Y: $P_y - y_{min} - y_n - y_m - y_j$;

по координате X: $P_x - x_n - x_m$.

На основе выполненного анализа общей архитектуры размерных связей в станках с устройством ЧПУ можно сделать следующие выводы:



а



б

Рис. 3. Настраиваемые размеры связи в многоцелевом станке

1. Размерные связи могут быть представлены в виде замкнутых размерных цепей по каждой управляемой координате;
2. С целью обеспечения точности настраиваемых размерных связей и уменьшения трудоемкости процессом настройки необходимо произвести предварительную точную аттестацию параметров $P_x, P_y, P_z, \gamma_{\text{max}}$ и z_{min} односторонней размерной связи;
3. Во второй ветви размерных связей в процессе наладки станка точной аттестации подлежат звенья: вылет режущего инструмента z_c и величины планируемых смещений нуля $z_{\text{н}}$ при обработке детали.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Проскуряков А. Ф.* Анализ размерных связей в станках с устройством ЧПУ // Наука и техника Казахстана. – 2001. – №1. – С.60-69.
2. *Проскуряков А. Ф., Варфоломеева Ю. А.* Прогнозирование точности обработки на станках с ЧПУ по динамическому положению настраиваемых размерных связей // Материалы научной конференции молодых ученых и школьников «II Саттываскичтегия». – 2002. – С.96.
3. *Проскуряков А. Ф., Варфоломеева Ю. А.* Графическая модель погрешностей настраиваемых размерных связей в станках с устройством ЧПУ // Наука и техника Казахстана. – 2003. – №3. – С.56-65.

УДК 624.155

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ УДАРА ДИЗЕЛЬ-МОЛОТА ПРИ ЗАБИВКЕ СВАЙ В ГРУНТЫ

И.И. Бекбасаров

Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати

Топыраққа қадалар қаққан кезіндегі дизель-балғаның соғу энергиясын анықтайтын формула келтірілген. Формуланы қорытындылап шығарған кезде соғу процесінің негізгі ерекшеліктері ескерілген. Түпкі теңдік ретінде энергетикалық тепе-теңдік қолданылған. Бұрынғы қолданылып келген формулаларға қарағанда ұсынылып отырған формула балғаның соғу энергиясын соққы кезіндегі балғаның жандырылу камерасына буржидің отының жарытылуын ескеріп есептеуге мүмкіндік береді.

Представлена формула по определению энергии удара дизель-молотов при забивке свай в грунты. При выводе формулы учтены основные закономерности процесса ударного взаимодействия соударяемых элементов. В качестве исходного уравнения использовано уравнение энергетического баланса. В отличие от существующих рекомендуемая формула позволяет рассчитывать энергию удара молота с учетом топлива, подаваемого в камеру сгорания молота при ударе.

The formula for definition of impact's energy of a diesel engine is presented for the process of hammer in of piles into the ground. During the formula elaboration the basic laws for elements under the impact interaction are taken into account. The equation of power balance is used as the initial equation. The recommended formula allows to calculate energy of a diesel engine while taking into account the fuel submitted in the chamber of combustion for diesel engine at impact.

При забивке свай, как известно, энергия удара дизель-молота складывается из двух составляющих: первой – энергии механического удара (зависящей от веса и высоты падения ударной части молота); второй – энергии взрыва горючей смеси, идущей на погружение свай (зависящей от объема топлива, подаваемого в камеру сгорания молота при ударе). Определению энергии удара дизель-молотов с учетом этих составляющих посвящено ряд исследований [1–4]. Общим недостатком формул, полученных специалистами на основе этих исследований является то, что они не позволяют определять энергию взрыва горючей

смеси с учетом расхода (объема) топлива, подаваемого в камеру сгорания молота.

Для обоснования необходимости учета данного параметра достаточно отметить, что в дизель-молотах регулирование высоты подъема в ударной части, а следовательно, и энергии удара осуществляется путем изменения расхода топлива, подаваемого в их камеру сгорания [1,5,6]. Учитывая актуальность данного вопроса ниже рассматривается решение соответствующей задачи.

Исходную формулу по определению энергии удара дизель-молота при забивке свай можно представить в следующем виде

$$E_c = E_{\text{мр}} + E_{\text{вз}} - E_{\text{сж}}$$

где $E_{\text{мр}}$ – энергия механического удара молота (без подачи топлива в камеру сгорания), кДж;

$E_{\text{вз}}$ – энергия взрыва горючей смеси в камере сгорания молота, идущая на погружение свай, кДж;

$E_{\text{сж}}$ – энергия молота, расходуемая на сжатие воздуха в камере сгорания, кДж.

Рассмотрим пути определения параметров, входящих в данное выражение.

В настоящее время существуют несколько предложений по определению энергии механического удара дизель-молотов [1,3,4,7], анализ которых позволяет считать, что наиболее приемлемым и достаточно обоснованным из них является предложение Школьников И.Е. [7]. Им предложено энергию механического удара дизель-молотов рассчитывать по формуле

$$E_{\text{мр}} = GH(k + \cos\alpha - k'\sin\alpha - 1),$$

где G – вес ударной части молота, кН,

k – КПД молота, принимаемый по таблице 1,

α – угол наклона оси молота к вертикали в градусах;

k' – коэффициент трения, зависящий от конструктивных особенностей и состояния поверхностей скольжения ударной части молота, принимаемый по таблице 1

Значения коэффициентов k и k'

Тип молота	Коэффициент k		Коэффициент k'
	при расчете несущей способности свай	при расчете напряжений в свае	
Трубчатый	0,85	0,9	0,3
Штанговый			0,5

Значения коэффициентов k и k' , представленные в таблице 1 установлены на основе результатов экспериментального измерения сил трения и скорости движения ударной части молотов. Поэтому эти коэффициенты в формуле (2) выступают как обобщенные параметры, в совокупности учитывающие следующие потери энергии дизель-молотов при ударе:

- потери энергии от конструктивного трения, не зависящего от наклона сваи и являющегося постоянным для конкретного молота,
- потери энергии на преодоление трения, обусловленного появлением составляющей силы тяжести ударной части молота, перпендикулярной направлению ее движения, при забивке наклонной сваи;
- потери энергии на преодоление сопротивления воздуха в цилиндре молота (без учета сжатия воздуха в камере сгорания молота).

Для определения энергии молота, расходуемой на сжатие воздуха в сто в камере сгорания, специалистами рекомендуется использовать ряд формул, представленных в работах [1,4,6]. Количественной проверкой выявлено, что из них наиболее достоверные результаты позволяет получать формула Вязовикина В.Н., предложенная Новожиловым Г.Ф в работе [4]

$$E_{\text{а}} = 60P_{\text{а}} V_{\text{к}} \quad (3)$$

где $P_{\text{а}}$ - атмосферное давление, кПа,

$V_{\text{к}}$ - объем камеры сгорания молота, м³

Таким образом, обобщая изложенное, следует отметить, что в исходной формуле (1) для определения параметров $E_{\text{тп}}$ и $E_{\text{ж}}$ можно использовать соответственно формулы (2) и (3).

Кроме отмеченных параметров, в правую часть формулы (1) входит и энергия взрыва горючей смеси в камере сгорания молота, идущая на погружение сваи $E_{\text{в}}$. Рассмотрим решение задачи по ее определению. Для этого предварительно примем следующий порядок изменения процесса взаимодействия соударяемых элементов (ударной части молота, шабота, амортизатора, наголовника, сваи и грунта) при ударе, установленный на основе анализа и обобщения данных, изложенных в работах [1,4,5,7,8]:

1 этап - поршень (ударная часть) молота падает с определенной высоты и преодолевает трение о стенки цилиндра;

- 2 этап - поршень перекрывает выхлопные патрубки цилиндра и, двигаясь вниз, дополнительно преодолевает еще и сопротивление воздуха сжатию. Сжатие воздуха происходит в соответствии с законо-

мерностями политропного процесса на участке, длиной H_p (рабочий ход поршня):

– 3 этап – происходит удар молота по шаботу;

– 4 этап – ударом поршня распыляется топливо, находящееся в камере сгорания молота, далее оно, перемешиваясь с нагретым от сжатия воздухом, воспламеняется и происходит взрыв горючей смеси с выделением газов. В процессе ударного контакта до взрыва горючей смеси поршень, шабот, наголовник, амортизатор и свая перемещаются совместно на величину S_0 ;

– 5 этап – происходит расширение газов вниз с оказанием дополнительного давления на шабот, наголовник, амортизатор и свая. Расширение газов сопровождается отрывом шабота от поршня и подчиняется закономерностям политропного процесса. Расширение газов протекает до остановки сваи, на участке длиной, равной ее откату S' ;

– 6 этап – происходит расширение газов в противоположную сторону и поршень поднимается вверх, преодолевая трение о стенки цилиндра. До открытия выхлопных патрубков расширение газов протекает в соответствии с закономерностями политропного процесса. Расширение газов вверх охватывает участок длиной, равной $(S_0 + H_p)$;

– 7 этап – поршень продолжает двигаться вверх, открываются выхлопные патрубки, происходит выхлоп отработанных газов и в цилиндр поступает свежий воздух, в результате чего давление в цилиндре снижается. Поршень, перемещаясь вверх на величину h , останавливается. Давление в цилиндре при этом достигает атмосферного или очень близкого к нему значения.

Изложенный порядок изменения процесса взаимодействия соударяемых элементов характерен для трубчатых молотов. Пренебрегая некоторыми особенностями работы штанговых молотов, как это сделано в работах [1,4], примем этот порядок и для штанговых молотов.

На основе изложенного, для процесса расширения газов (после выхлопа горючей смеси в камере сгорания молота) по направлению движения сваи, уравнение политропы запишется в виде [9]

$$P_1 / P_2 = (V_1 / V_2)^n,$$

где P_1 – давление газов при их объеме V_1 , кПа;

P_2 – давление взрыва горючей смеси (максимальное) в камере сгорания молота, кПа;

V_1 – объем газов к концу их расширения по направлению движения сваи, м³;

n – показатель политропы расширения.

При известном уравнении политропы (4), формула по определению энергии взрыва горючей смеси, идущей на погружение свай, может быть представлена в виде

$$E_{\text{в}} = (P_2 V_k - P_1 V_1) / (n-1). \quad (5)$$

В формулах (4) и (5) объем камеры сгорания V_k и объем газов V_1 можно определить соответственно по формулам

$$V_k = AH / (\epsilon - 1), \quad (6)$$

$$V_1 = V_k + AS' = A[H / (\epsilon - 1) + S']. \quad (7)$$

где A – площадь поперечного сечения цилиндра молота, м^2 ;

ϵ – степень сжатия воздуха,

S' – перемещение свай в грунте, в пределах которого проявляется расширение газов, м .

Перемещение S' по величине меньше полного отказа свай S и может быть выражено относительно нее в виде зависимости

$$S' = k_s S, \quad (8)$$

где k_s – коэффициент, определяющий долю перемещения S' от отказа свай S .

Учитывая зависимость (8) и принимая $H / (\epsilon - 1) = v$, формулы (6) и (7) можно представить в виде

$$V_k = A v, \quad (9)$$

$$V_1 = A(v + k_s S), \quad (10)$$

Определение энергии $E_{\text{в}}$ по формуле (5) требует знаний величин давлений P_2 и P_1 .

Известно, что при взрыве горючей смеси величина давления P_2 в камере сгорания трубчатого молота может достигать 7–8 МПа [5], но формул, позволяющих рассчитывать этот параметр применительно к взрыву смеси паров жидких горючих веществ в настоящее время не выявлено. Единственная формула, представленная в работе [10], позволяет устанавливать давление горючих газов только для случая взрыва смесей природных газов и воздуха при их воспламенении. Поэтому, учитывая, что при забивке свай, повышение расхода топлива, подаваемого в камеру сгорания молота, вызывает увеличение высоты подъема его ударной части, примем гипотезу о прямой пропорциональности давления P_2 объему топлива V_1 , аспрыскиваемого в камеру сгорания молота.

С учетом принятой гипотезы зависимость между указанными параметрами можно представить в виде

$$P_2 = k_p V_1, \quad (11)$$

где k_p – коэффициент пропорциональности, $\text{кН}/\text{м}^3$.

Учитывая зависимость (11) из уравнения политропы (4) можно получить формулу по определению давления P_1

$$P_1 = P_0 (V_1/V_0)^n = k_1 V_1 (V_1/V_0)^n, \quad (12)$$

Формула (12) с учетом выражений (9) и (10) может быть окончательно записана в виде

$$P_1 = k_1 V_1 [v/(v+k_1 S)]^n. \quad (13)$$

Теперь, принимая во внимание формулы (9), (10), (11) и (13), выражение (5) по определению энергии взрыва горючей смеси, идущей на погружение свай, окончательно можно представить в виде

$$E_{\text{вз}} = [A k_1 V_1 v/(n-1)] \{1 - [v/(v+k_1 S)]^{n-1}\}, \quad (14)$$

Тогда, учитывая формулы (2), (3) и (14), исходная формула (1) по определению энергии удара дизель-молота при забивке свай может быть представлена в виде

$$E_1 = GH(k + \cos\alpha - k' \sin\alpha - 1) + [A k_1 V_1 v/(n-1)] \{1 - [v/(v+k_1 S)]^{n-1}\} - 60P_0 V_0, \quad (15)$$

Для случая забивки вертикальных свай формулу (15) рекомендуется использовать в виде

$$E_1 = GHk + [A k_1 V_1 v/(n-1)] \{1 - [v/(v+k_1 S)]^{n-1}\} - A H_0 P_0, \quad (16)$$

где P_0 - условное давление в виде отношения $60P_0/(\epsilon-1)$, принимаем равным: 450 кПа для трубчатых молотов; 263 кПа - для штанговых молотов.

Данная формула в отличие от существующих формул подобного рода отличается тем, что она позволяет определять энергию удара дизель-молотов с учетом расхода топлива в их камере сгорания.

На основе результатов экспериментальных исследований установлены значения коэффициентов k_1 и k_2 , при которых формула (1) позволяет получать достоверные результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баходдин Б.В. Энергия удара дизель-молота при погружении свай // Труды НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. - Москва, 1977. - Вып. 66. - С. 40-45.
2. Шахирев В.Б., Савицкий Г.И. Совершенствование статических и динамических испытаний свай. Тезисы докладов и сообщений Всесоюзной конференции по совершенствованию технологии работ нулевого цикла с использованием средств механизации и автоматизации. - Уфа, 1981. - С.42-45.
3. Абрамов В.Е. Динамическое взаимодействие дизель-молота и свай в процессе погружения в грунт // Материалы V Всесоюзной конференции по динамике оснований, фундаментов и подземных сооружений. - Москва, 1981. - С.165-167.
4. Новосилова Г.Ф. Бездефектное погружение свай в талых и вечномерзлых грунтах. - Ленинград, 1987. - 111 с.

5. Суворов А.В., Левинзон А.Л. Машины для свайных работ. - Москва, 1982. - 148 с.
6. Нарбут Р.М. Работа свай в глинистых грунтах. - Ленинград, 1972. - 160 с.
7. Школьников И.Е. Учет механических потерь энергии в свайных молотах при динамических расчетах // Труды ЦНИИС. - Москва, 1977. - С.110-119.
8. Вязовикин В.Н. Теоретические исследования процесса удара дизель-молота // Труды ВНИИСДМ. - Москва, 1979. - Вып. 84. - С. 3-9.
9. Техническая термодинамика. / Под ред. Крутова В.И. - Москва, 1981. - 439 с.
10. Нечаев М.А. Основы газовой техники. - Ленинград, 1974. - 88 с.

УДК.621.879.48

ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КОЛЕБАНИЙ РЕЖУЩЕГО ОРГАНА НА РЕЗАНИЕ ГРУНТА В РОТОРНЫХ ЭКСКАВАТОРАХ

Е.К. Сарымов

Павлодарский государственный университет

им. С. Торайгырова,

С.Н. Нураков

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,

г. Астана

Бұл жұмыста роторлы экскаваторларда грунтты кесуе төменгі жиіліктегі тербелісті кесуші органға әсер етуші және динамикалық және қарапайым грунтты кесуші зерттеулер шешімдерінің таңдауы жүргізілді және зерттелді.

В данной работе исследуется влияние низкочастотных колебаний режущего органа на резание грунта в роторных экскаваторах и проводится анализ результатов исследований при обычном и динамическом резании грунта.

In this work is examined the influence of low frequent hesitation of ground cutting organ in rotor excavators and was made analysis of the results of exploration in usual and dynamic ground cutting.

При работе роторных экскаваторов с бесковшовым ротором неизбежной разгрузки из-за упругости конструкций, кинематических и технологических условий работы режущий орган подвергается обычно некоторым колебаниям, вызывающим колебания параметров стружки, угла и скорости резания, а следовательно колебания усилия резания. К колебаниям усилия резания также приводит случайный характер прочностных характеристик грунта. Игнорирование динамичности процесса резания, особенно при анализе динамических систем, может привести к принципиальным ошибкам.

Рядом авторов (МИСИ) были проведены экспериментальные исследования с целью установления зависимости усилия резания от колебаний угла, скорости резания и колебаний режущего инструмента в плоскости среза.

Гранулометрический состав грунта соответствовал тяжелым суглинкам. Изменением влажности грунта, степени его уплотнения и времени выдержки физико-механические свойства грунта изменялись в широких пределах. Исследования проводились при трех принципиально различных состояниях грунта.

А) Сыпучий несвязный грунт, $C = 2+4$, влажность $\omega = 3+5\%$

Б) Связный пластинчатый грунт; $C = 7+13$, влажность $\omega = 12+15\%$.

В) Высокопластичный переувлажненный грунт; $C = 1+4$, влажность $\omega = 18+24\%$.

Исследования проводились при следующих кинематических и геометрических параметрах: толщина стружки h до 13 см; ширина зуба $b = 5$ см; скорость резания $V = 0+2,5$ м/сек; номинальный угол резания $\alpha = 25+40^\circ$, колебания скорости резания $\Delta V = 0+1$ м/сек; колебания угла резания $\Delta \alpha$ от 0 до $\pm 10^\circ$; период колебаний $T = 0,75+1,5$ м/сек;

Резание грунта производилось острым зубом и зубом, имеющим площадку затупления, наклоненную к траектории резания под углом $d = 80$ (Рисунок 1).

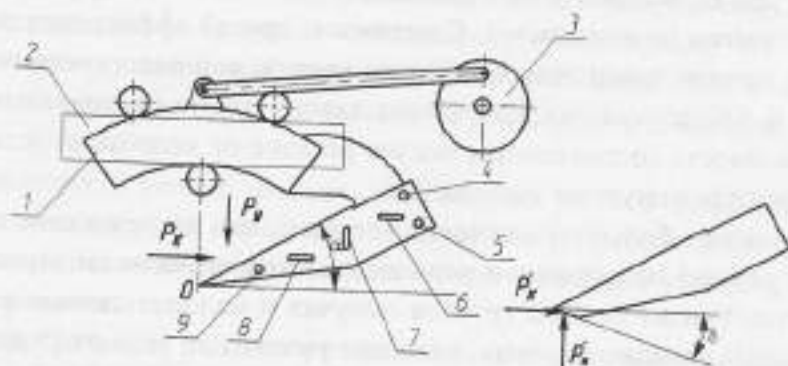


Рис. 1. Схема экспериментальной установки и расположение зуба с площадкой затупления при резании:

P_K, P_N - касательная и нормальная составляющие усилия резания; P'_K, P'_N - касательная и нормальная составляющие усилия резания на площадке затупления; α - угол резания; δ - угол между площадкой затупления и траекторией резания;

1, 2 - направляющие; 3 - эксцентрик; 4, 5, 9 - тензометрические балочки для замера боковой силы; 6, 7, 8 - тензометрические тяги для замера составляющих усилий резания P_K, P_N .

Резание одного и того же грунта производилось как при колебании угла и скорости резания (далее такое резание называется динамическим), так и без изменения этих параметров (далее именуется обычным резанием). Сопоставление результатов в обоих случаях позволило проанализировать различия в реакции грунта на изменение угла и скорости резания при обычном и динамическом резании, а также выявить возможности использования большого числа накопленных результатов исследований в условиях обычного резания при анализе динамических систем.

Анализ результатов проведенных исследований показывает, что реакция одного и того же грунта на изменение скорости резания при обычном и динамическом резании аналогичны по характеру и величине. При обычном резании острым зубом изменение скорости незначительно влияет на усилие резания для всех грунтов. При динамическом резании для скорости до 2,5 м/сек во всех исследованных состояниях грунтов (А, Б, В) колебания касательной и нормальной составляющих усилия резания не превышали 10%. При резании зубом, имеющим плоскую затупленность, изменение скорости не приводит к ощутимым изменениям обеих составляющих усилия резания как при обычном, так и при динамическом резании.

Исследования динамического резания несвязных сыпучих и малоупруго-пластических переувлажненных грунтов, соответствующих состояниям А и Б, при колебаниях угла в пределах $\pm 60^\circ$ показали, что усилия резания практически не изменяются. Совершенно другой эффект дает динамическое резание пластичного связного грунта, соответствующего состоянию Б. Обработка данных резания такого грунта позволяет определить зависимость составляющих усилия резания от колебаний угла резания, представленную на рисунке 2.

Представляет большую важность тот факт, что исследование влияния угла резания при обычном резании дает аналогичные по характеру результаты. Усилия резания грунтов сыпучих и малоупруго-пластично-глинистых изменяются очень мало при увеличении угла от 25° до 60° , а для грунтов пластичных глинистых изменение угла в тех же пределах приводит к значительному изменению усилий.

Зависимость касательного усилия резания от угла резания можно выразить формулой:

$$P_K = k_F F [1 + \chi \Delta \alpha(t)]$$

где k_F — удельное усилие разрушения в кг/см²;

F – площадь срезаемой стружки в см^2 ;

$\Delta\alpha(t)$ – изменение во времени угла резания в град;

χ – коэффициент, характеризующий влияние колебаний угла α ;

Для сыпучих не пластичных грунтов $\chi=0$, для грунтов пластичных при обычном резании $\chi=1,9$, при динамическом $\chi=2,1+2,5$;

Значительно больше отличаются нормальные составляющие P_N усилия резания при этих режимах. Зависимость P_N от P_K определяется [1]

$$P_N = P_K \cdot \text{ctg}(\alpha + \mu + \rho), \quad (2)$$

где μ – угол трения грунта о сталь,

ρ – угол трения, характеризующий динамичность процесса.

Исследования динамического резания затупленным зубом показывают, что касательная составляющая P'_K усилия резания на площадке затупления может быть выражена формулой:

$$K'_K = k_f \cdot f [1 + \varepsilon \cdot \Delta\alpha(t) + \eta F(t)], \quad (3)$$

где k_f – удельное усилие смятия грунта площадкой затупления в $\text{кг}/\text{см}^2$;

f – площадь сминаемого грунта в см^2 ;

$F(t)$ – изменение во времени площади сминаемого грунта в см^2 ;

ε, η – коэффициенты определяющие влияние изменения угла и площади на усилие при $\Delta\alpha < \pm 6^\circ$.

Зависимость нормальной составляющей P'_N усилия резания от касательной P'_K на площадке затупления аналогична зависимости (2).

Исследования поперечных колебаний зуба показывает, что боковое усилие пропорционально отношению скорости колебаний и скорости резания, прочности грунта и зависит от конфигурации боковой поверхности зуба.

Зависимость усилий резания от изменений углов и скоростей, которые в свою очередь, определяются колебаниями рабочего органа, дает возможность анализировать динамические системы с учетом динамичности резания.

Геометрические условия резания вместе с физическими закономерностями взаимосвязи резания и колебаний могут приводить к разнообразным эффектам: изменению собственных частот колебаний и, следовательно, смещению области резонанса, демпфированию или дестабилизации колебаний, возникновению параметрических колебаний и автоколебаний.

Колебания геометрических параметров резания могут привести к появлению эффекта последствия и динамической неустойчивости [3].

Исследования роторных экскаваторов с бесковшовым ротором нижней разгрузки подтверждают значительность взаимного влияния колебаний и усилий резания. Наиболее очевидно это проявляется в демпфировании колебаний. Например, для роторных экскаваторов за счет рассеивания энергии в металлоконструкциях и приводах логарифмической декремент колебаний $\lambda = 0,05 + 0,12$. Правильный расчет взаимозависимости колебаний и усилий резания при проектировании рабочих органов роторных экскаваторов позволяет использовать грунт как демпфирующую среду и избежать возникновения нежелательных колебательных явлений отрицательно влияющих на рабочий процесс.

Отсутствие исследований динамического резания заставляет пользоваться при расчетах динамических систем зависимостями усилий резания, полученными при исследованиях обычного резания. В определенной степени это подтверждает принципиальную правильность такого решения при анализе низкочастотных колебаний рабочего органа. Дальнейшее развитие исследований процессов динамического резания позволит более полно решить вопрос о влиянии колебаний рабочих органов и динамичности резания на работу роторных экскаваторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ветров Ю.А.* Расчеты сил резания и копания грунтов. – Киевский университет, 1965. – 245 с.
 2. *Волков Д.П., Черкасов В.А.* Динамика и прочность многоковшовых экскаваторов и отвалообразователей. – Машиностроение, 1969. – 408 с.
 3. *Нураков С.* Экскавационно-погрузочные машины с инерционным ротором нижней разгрузки. – Акмола: Жана Арка, 1995. – 212 с.
-

УДК 666.646

КЕРАМИЧЕСКИЕ ДРЕНАЖНЫЕ ТРУБЫ ИЗ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД УГЛЕДОБЫЧИ

В.Т. Станевич, М.К. Кудерин, Б.О. Смаилова

*Павлодарский государственный университет**им. С. Торайгырова*

Мақала керамикалық дренаж құбырларын өндіру мәселелеріне арналған. Жұмыста керамикалық құрылыс материалдарын өндіру үшін негізгі шикізат ретінде ұсынылған Екібастұз көмір өндірудің ашылығын жымыстарының негізгі қасиеттерін зерттеу мәселелері қарастырылған. Шикізаттың және әртүрлі құрамдағы үлгілердің технологиялық қасиеттерінің зерттеу мағлұматтары келтірілген. Дренаж құбырларының физико-механикалық сынауларының нәтижелері ұсынылған.

Статья посвящена вопросам производства керамических дренажных труб. В работе рассмотрены вопросы исследования основных свойств вскрышных пород угледобычи Екибастузского бассейна в качестве основного сырья для производства керамических строительных материалов. Приведены данные исследований технологических свойств сырья и образцов различных составов, результаты физико-механических испытаний дренажных труб.

The article is devoted to questions of manufacture of ceramic drainage pipes. In work questions of research of the basic properties rock waste breeds of coal output Ekibastuss of pool are considered as the basic raw material for manufacture of ceramic building materials. The data of researches of technological properties of raw material and samples of various structures, results of physicommechanical tests of drainage pipes are given.

Для сооружения закрытых дренажных систем наиболее эффективны керамические трубы. Надежность и продолжительность службы этих труб весьма велики, и использовать их начали давно. Дренаж известен с древних времен: несколько тысячелетий назад его применяли в Месопотамии, а затем в Древнем Риме. Археологическими раскопками установлено наличие дренажа в XI–XII вв. в Новгороде и в XIV–XVI вв. в Москве. Дренаж использовали для осушения почвы при строительстве Петербурга, и к концу XVIII века этот город имел подземную отводя-

щую сеть со сбросом воды в реки и каналы. В некоторых странах до появления шнековых прессов трубы формовали на гончарных кругах, а также путем обмазки глиной деревянных кругляков, которые выгорают при последующем обжиге [1].

Основным сырьем для производства керамических дренажных труб служат легкоплавкие глины или смеси различных глин с добавками [2].

Ранее проведенными исследованиями установлено, что вскрышные породы угледобычи, представленные такими породами, как аргиллиты и алевролиты по физико-механическим свойствам, химическому и минералогическому составу близки к традиционному глинистому сырью, используемому для производства керамического кирпича, черепицы и фасадной керамической плитки. После предварительной подготовки могут быть использованы для их производства в качестве основного сырья.

В данной работе приведены данные исследований технологических свойств масс, образцов и результаты физико-механических испытаний изделий из вскрышных пород угледобычи при проведении полумасштабных испытаний по выпуску опытной партии керамических дренажных труб.

В качестве сырья приняты вскрышные породы угледобычи: аргиллиты, алевролиты и их переслаивание из которых в различном соотношении составлены испытываемые составы.

Целью проведения исследований являлось:

- изучение отношения сырья к формовке на ленточном вакуум-прессе;
- исследование отношения сырца дренажных труб к искусственной сушке в туннельной сушилке;
- отношение высушенного сырца дренажных труб к обжигу;
- изучение качественных показателей обожженных образцов в соответствии их требованиями ГОСТ 8411-74.

Состав масс для проведения испытаний приведен в таблице 1.

Гранулометрический состав подготовленных порошков приведен в таблице 2.

После дозирования и тщательного перемешивания шихты, материал подвергался обработке на одновальной глиномешалке, вальцовый помол помола с зазором 3 мм, глиномешалке с протирочной головкой, материал поступал в глиномешалку ленточного вакуум-пресса СМ-48.

Состав масс для испытаний

Таблица 1

Маркировка масс	Вид изделий	Состав масс в % (по объему)		
		Сырье проб		Добавки проба 2
		1	3	
39-1	Дренажные 8-гранные трубы диаметром 50, 75, 100 и 150, дренажные цилиндрические трубы диаметром 125 и 175 мм	42,2	42,5	15,0
39-3	То же	42,5	42,5	15,0

Гранулометрический состав

Таблица 2

Геологические №№ проб	Частные остатки на ситах, %				Менее 0,15 мм	Сумма, %
	Размеры отверстий сит в мм					
	1,0	0,5	0,25	0,15		
1	0,00	44,00	18,00	9,00	28,50	99,50
2	0,0	43,50	17,50	7,50	31,00	99,50
3	0,00	63,0	13,50	6,00	17,00	99,50

Формовка сырца дренажных труб производится с применением вакуумирования. Образцы труб диаметром 50 мм формовали в 2 ручья. Глубина вакуума в вакуум-камере составляла 700 мм ртутного столба. Температура бруса составляла 29–32°C. Формовочная способность всех опытных масс была удовлетворительной. Из каждой опытной массы формовалось по 120–150 штук образцов-сырца.

Сушка отформованных образцов сырца-труб диаметром 50–175 мм производилась в туннельной противоточной сушилке, с верхним подводом и отводом теплоносителя. Теплоносителем служил наружный воздух, подогретый в паровом калорифере в смеси с рециркуляционным из туннеля. В процессе сушки производился контроль температуры и относительной влажности теплоносителя, разрежения в туннеле и влагоотдачи контрольных образцов сырца.

Сушка сырца-труб диаметром 50–175 мм производилась при типовых режимах продолжительностью 48 и 24 часа.

Обжиг опытных образцов производился в горне с выдвигным подом при температуре 950–960°C. Объем горна – 12 м³

В процессе обжига температура в горне замерялась термопарой и оптическим пирометром.

Результаты физико-механических испытаний дренажных труб приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3

Результаты физико-механических испытаний дренажных труб

Маркировка масс	Состав масс в % (по объему)	Внутренний диаметр трубы, мм	Температура обжигта, °С	Величина разруш. нагрузки, кг на 1 трубу	Общая усадка, %	Характеристика излома
39-1	1+3(1:1)+15% пр.2	50	950-960	870	8,5	Характеристика излома: (для всех) кремовато-желтого цвета, середина излома черная
39-1	1+3(1:1)+15% пр.2	75	950-960	928	8,5	
39-1	1+3(1:1)+15% пр.2	100	950-960	1112	8,5	
39-1	1+3(1:1)+15% пр.2	125	950-960	1164	8,5	
39-1	1+3(1:1)+15% пр.2	150	950-960	1216	8,5	
39-1	1+3(1:1)+15% пр.2	175	950-960	1233	8,5	
39-3	1+3(1:1)+15% пр.2	50	950-960	740	8,5	
39-3	1+3(1:1)+15% пр.2	75	950-960	800	8,5	
39-3	1+3(1:1)+15% пр.2	100	950-960	1080	8,5	
39-3	1+3(1:1)+15% пр.2	125	950-960	910	8,5	

Таблица 4

Результаты испытаний дренажных труб на морозостойкость

Маркировка масс	Внутренний диаметр трубы, мм	Внешние признаки разрушений после попеременного замораживания и оттаивания после 15 циклов	Марка по морозостойкости
39-3	50	нет	Мрз 15
39-3	75	нет	Мрз 15
39-3	100	нет	Мрз 15
39-3	125	нет	Мрз 15
39-1	150	нет	Мрз 15

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- Масса, составленная из сырья представленных проб 1+3(1:1)+15% пр.2, обладает удовлетворительной формовочной способностью, обеспечивающей получение нормального бруса для сырья дренажных труб методом пластического формования.

- При сушке в туннельной сушилке с продолжительностью сушки 48 часов образцы 8-гранных труб диаметром 50, 75, 100 и 150 мм и цилиндрических труб диаметром 125 и 175 мм из массы 39-1, высушены удовлетворительно.

– При сушке в туннельной сушилке с продолжительностью режима 24 часа образцы 8-гранных труб диаметром 50, 75, 100 и 150 мм и цилиндрических труб диаметром 125 мм высохли удовлетворительно. Образцы цилиндрических труб диаметром 175 мм при этом же режиме имели 41,0% брака.

– Результаты разбраковки после обжига показали, что все удовлетворительно высушенные образцы труб, кроме 8-гранных труб диаметром 150 мм из массы 39-3 (срок сушки 24 часа), соответствуют требованиям ГОСТ 8411-74 по внешнему виду. Образцы труб диаметром 150 мм из массы 39-3 после обжига имеют 20,5% брака.

– По величине разрушающей нагрузки образцы удовлетворительно обожженных труб всех диаметров из масс 39-1 и 39-3, соответствуют требованиям ГОСТ 8411-74 [3].

– Обожженные образцы дренажных труб из рекомендованных масс выдержали 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания и соответствуют требованиям ГОСТ 8411-74

– Определение содержания водорастворимых солей в обожженном черепке не производили, так как при производстве дренажных труб содержание SO₃ не регламентируется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукинов М.И. Керамические дренажные трубы. Изд. 2-е перераб. и доп. – М., Стройиздат, 1969. – 192 с.
2. Лукинов М.И. Производство керамических дренажных труб. 3-е изд. – М., Стройиздат, 1981. – 214 с.
3. ГОСТ 8411-74 Трубы керамические дренажные. – 18 с.

УДК 621.311.153.001.26

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКЕ

Б.Б. Утегулов, А.Б. Утегулов,

Д.Б. Утегулова, З.Д. Турсынбаева

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова

В.В. Ткаченко

Костанайский государственный университет им. А. Байтурсынова

Бұл жұмыста "тораптың экономикалық радиусы" ұғымын қолданып, жүктемені біркелкі тарату кезіндегі оптималдық параметрлерін анықтау әдісі әзірленген, сонымен қатар электрік жүктеменің ауданы бойынша біркелкі таратылған өндірістің электрмен жабдықтау торабының оптималды моделі салыстырмалы түрде құрастырылған.

В работе разработан метод определения оптимальных параметров системы электроснабжения при равномерно распределенной нагрузке, в котором, используя понятие "экономический радиус сети", сравнительно просто строится оптимальная модель сети электроснабжения предприятия с равномерно распределенной по площади электрической нагрузкой.

In work, the method of definition of optimum parameters of system of electrosupply is developed at in regular intervals distributed (allocated) loading in which, using concept "economic the radius of a network", rather simply is under construction optimum model of a network of electrosupply of the enterprise with electric loading in regular intervals distributed (allocated) on the area.

При построении математической модели системы электроснабжения предприятия всегда требуется принимать ряд допущений, позволяющих упростить реальную схему. Такие допущения идеализируют реальные условия, но характер качественных изменений оптимальных параметров системы электроснабжения можно изучать и по идеализированной схеме.

Обычно считают, что нагрузка потребителей однородна, имеет одинаковое число часов использования максимальной нагрузки (T_M), коэффициент мощности ($\cos\phi$) и равномерно распределена по территории. В частности, такие допущения принимают при исследовании систем электроснабжения городов и населенных пунктов, а также цехов некоторых производств с равномерной расстановкой технологического оборудования по площади (в машиностроении).

Поверхностная плотность нагрузки:

$$\sigma = \frac{S_{p\Sigma}}{F}, \quad (1)$$

где $S_{p\Sigma}$ – суммарная расчетная нагрузка потребителей, кВА,
 F – площадь предприятия, км²

При равномерно распределенной нагрузке каждый из потребителей предприятия имеет одинаковую нагрузку S_0 , расположенную в центре квадрата со стороной «а». Схема расположения нагрузок представлена на рис. 1

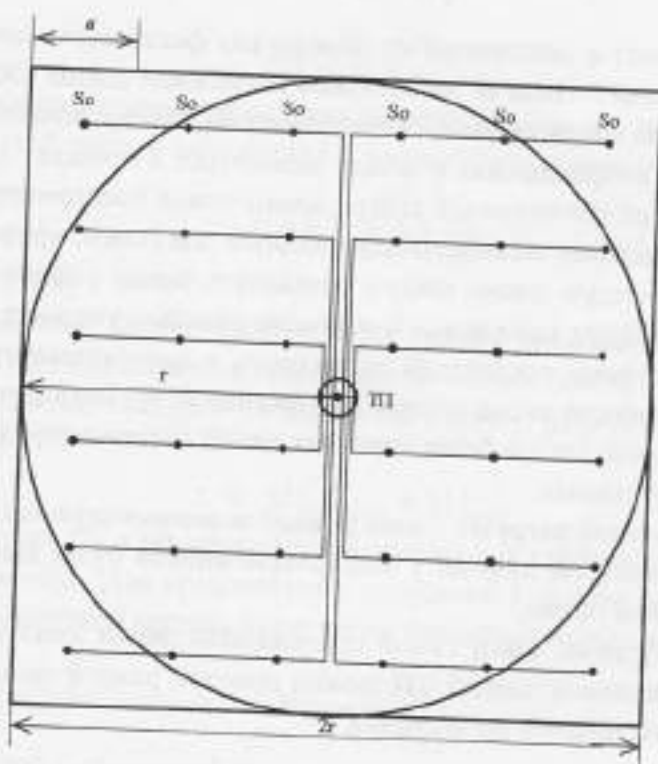


Рис. 1. Схема электроснабжения части предприятия с равномерно распределенной нагрузкой

Расчетная нагрузка одного потребителя (единичная нагрузка):

$$S_0 = \sigma a^2$$

Для питания группы потребителей, занимающих площадь квадрата со стороной равной $2r$, служит одна трансформаторная подстанция, мощность которой составит

$$S_{\text{тп}} = 4r^2 \sigma.$$

где r – радиус окружности вписанной в квадрат со стороной равной $2r$.

Все потребители, входящие в зону обслуживания трансформаторной подстанции (ТП) могут подключаться к ТП либо по радиальным, либо по магистральным схемам. На рис. 1 потребители подключены к ТП по магистральным схемам, по линиям с одинаковой нагрузкой. Длина самой длинной линии превышает радиус r примерно в 1,7 раза.

Отношение фактической длины линии к радиусу вписанной окружности r называют коэффициентом конфигурации сети

$$\psi = \frac{l_{\text{ф}}}{r}$$

Коэффициент ψ показывает во сколько раз фактическая длина линии электропередачи больше ее минимально возможной длины. Обычно увеличение длины линии связано с ограничениями планировочного характера. Значение коэффициента ψ может находиться в пределах 1,0 ... 1,7 в зависимости от особенностей генерального плана предприятия.

При определении экономического радиуса для схемы, приведенной на рис. 1 за расчетную линию следует принимать линию с наибольшей длиной, т.к. она будет находиться в наиболее тяжелых условиях по отношению допустимых отклонений напряжения у электроприемников. Если для самой длинной линии потери напряжения будут находиться в пределах допустимых, то для более коротких линий потери напряжений будут меньше допустимых.

При расчетной нагрузке линий равной экономической нагрузке, количество электрической энергии у электроприемников будет выше, чем для самой длинной линии.

Таким образом, длину самой протяженной линии электропередачи в зоне обслуживания данной ТП можно принять равной экономической радиусу сети низкого напряжения.

$$l_{\text{ж.л.}} = l_{\text{ф}}, \text{ тогда } r_n = \frac{l_{\text{ж.л.}}}{\psi}$$

с учетом выражения (5), выражение (4) будет иметь вид:

$$S_{\text{opt}} = 4 \sigma \left(\frac{l_{\text{эк.л}}}{\psi} \right)^2 = \frac{4 \sigma}{\psi^2} l_{\text{эк.л}}^2 = \frac{4 \sigma}{\psi^2} \left(\frac{\Delta U_{\text{доп}}}{\Delta U_{\text{опт.уд\%}}} \right)^2 \quad (6)$$

Нагрузка ТП определенная по выражению (6) будет являться оптимальной для данного участка площади предприятия, т.к. каждая линия, отходящая от ТП, имеет оптимальную нагрузку и количество отходящих линий оптимально.

Таким образом, при равномерно распределенной нагрузке для определения оптимальной нагрузки ТП следует определить экономический радиус сети ($l_{\text{эк}}$) с учетом допустимой потери напряжения и оптимальной удельной потери напряжения в сети.

Если принять нагрузку подстанции $S_{\text{ТП}}$ равной номинальной мощности стандартного трансформатора $S_{\text{СТ}}$, то для каждого значения стандартной мощности трансформатора можно определить значение экономического радиуса сети:

$$l_{\text{эк.л}} = \frac{\psi}{2} \sqrt{\frac{S_{\text{СТ}}}{\sigma}} \quad (7)$$

Для каждого стандартного трансформатора, при его загрузке равной номинальной, радиус окружности r зоны обслуживания подстанции:

$$r_{\text{н}} = 0,5 \sqrt{\frac{S_{\text{СТ}}}{\sigma}} = \frac{A}{\sqrt{\sigma}}, \quad (8)$$

где $A = 0,5 \sqrt{S_{\text{СТ}}}$

Оптимальный радиус обслуживания каждой трансформаторной подстанции будет определяться номинальной мощностью ее трансформатора и плотностью нагрузки. Ограничением длины радиуса будет являться условие:

$$r \psi \Delta U_{\text{опт.уд\%}} \leq \Delta U_{\text{доп}}$$

Выражения (7) и (8) справедливы только для оптимальной загрузки трансформатора. Для предприятия с площадью F и равномерно распределенной нагрузкой оптимальное число трансформаторных подстанций:

$$N_{\text{opt}} = \frac{F \psi^2}{4 l_{\text{эк.л}}^2} \quad (9)$$

Каждая ТП при равномерно распределенной нагрузке будет находиться в центре квадрата с площадью равной $4 r^2$

Количество линий низкого напряжения отходящих от одной ТП будет определяться оптимальной нагрузкой линий. Установлено, что оптимальная мощность линии обратно пропорциональна величине активного удельного сопротивления r_0 . Если принять r_0 минимальным, т.е. соответствующим стандартному максимальному сечению проводника, то мощность головного участка каждой линии (при магистральной схеме) будет равна $S_{\text{опт. макс}}$.

Оптимальное количество линий отходящих от одной ТП.

$$m_{\text{л}} = \frac{S_{\text{лн}}}{S_{\text{опт. макс}}} \quad (10)$$

При известной величине единичной расчетной нагрузке потребителей S_0 , значение которой равно $S_0 = a^2 \sigma$, количество единичных нагрузок подключаемых к одной линии:

$$n_{\text{л}} = \frac{S_{\text{опт. макс}}}{S_0} = \frac{S_{\text{опт. макс}}}{a^2 \sigma} \quad (11)$$

Таким образом, все основные оптимальные параметры оптимальной системы электроснабжения на напряжения до 1000 В нами определены.

Параметры линий 6-10 кВ (количество, длина) будут определяться количеством и нагрузкой потребительских (цеховых) подстанций 6-10/0,38 кВ, а также местами их расположения.

Основные параметры линий 6-10 кВ будут определяться аналогичными параметрами для линий 0,38 кВ.

Обычно для электроснабжения предприятий средней мощности устанавливается одна главная понизительная подстанция (ГПП) или один главный распределительный пункт (ГРП). Если за единичную нагрузку линий 6-10 кВ принять оптимальную нагрузку трансформаторной подстанции $S_{\text{ГПП}}$, то остальные параметры можно легко определить:

а) экономический радиус сети 6-10 кВ

$$l_{\text{эк. в}} = \frac{\Delta U_{\text{доп. в}}}{\Delta U_{\text{опт. уд. в}}}$$

Индекс «в» означает, что параметры относятся к сети 6-10 кВ.

б) оптимальная мощность каждой линии 6-10 кВ $S_{\text{опт. макс}}$ определяется для кабеля максимального сечения (с минимальным значением r_0).

в) оптимальная нагрузка ГПП или ГРП

$$S_{\text{ГПП}} = N_{\text{лн}} S_{\text{лн}} = \sigma \quad .$$

Сюда обычно прибавляют потери мощности в силовых трансформаторах, которые можно учесть некоторым коэффициентом k больше единицы.

$$S'_{\text{ГПП}} = k \sigma F = k N_{\text{ли}} S_{\text{ли}}, \quad (13)$$

d) оптимальное количество линий 6–10 кВ отходящих от ГПП (ГРП):

$$m = \frac{k \sigma F}{S_{\text{опт. макс. в}}}, \quad (14)$$

где $S_{\text{опт. макс. в}}$ – оптимальная нагрузка для линии 6–10 кВ с проводниками наибольшего сечения.

Для радиальных линий все оптимальные параметры определены.

Для магистральных линий $S_{\text{опт. макс. в}}$ будет являться нагрузкой головного участка. Оптимальное количество ТП, присоединяемых к одной линии 6–10 кВ:

$$n_{\text{в}} = \frac{S_{\text{опт. макс. в}}}{S_{\text{ли}}}, \quad (15)$$

Для идеализированной площадки местом расположения ГПП (ГРП) будет являться центр площади F (для квадрата – точка пересечения его диагонали).

Таким образом, оптимальные параметры системы электроснабжения для предприятий с равномерно распределенной по площади удельной нагрузкой σ определяются довольно просто, если известны данные об оптимальной и допустимой потерях напряжения. Данную методику можно использовать для определения оптимальных параметров систем электроснабжения бытовых потребителей, где обычно считают нагрузку, распределенной равномерно по площади.

УДК 625.75

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ОСНОВАНИЯ ГОРОДСКОЙ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ С УЧЕТОМ ПОДЗЕМНОЙ ТЕПЛОТРАССЫ

Б.Б. Телтаев, К.А. Айтбаев, Д.К. Саканов

Казахская академия транспорта и коммуникаций
им. М. Тынышпаева, г. Алматы

Бұл мақалада Алматы қаласының жағдайындағы қысқы мерзімде жер асты жылу желісін есепке алғандағы қала жолының топырақтық табанының температуралық өрісін қалыптастыруды эксперимент-талдық зерттеу нәтижесі хері қарастырылған.

В статье приведены результаты экспериментального изучения формирования температурного поля грунтового основания городской дороги с учетом подземного теплопровода в зимний период года в условиях города Алматы.

There results of experimental study forming temperature field of subsoil foundation of city road with taking into consideration underground heat pipe in winter period of year in the Almaty city condition are presented in this article.

С целью изучения формирования температурного поля городской дорожной конструкции с учетом подземного теплопровода были выбраны план проведения натурного эксперимента и участок дороги в условиях г. Алматы на улице им. Алтынсарина в зимний период 2002 года.

По вертикальному срезу траншеи было установлено, что существующая конструкция дорожной одежды состоит из следующих элементов:

- покрытие - двухслойный асфальтобетон, общей толщиной 34 см;
- основание - щебень фракционированный, толщиной 20 см;
- дополнительный слой основания - гравийно-песчаная смесь, толщиной 70 см;
- грунт земляного полотна - лессовидный суглинок.

Так же по вертикальному разрезу подземный теплопровод представляет собой две стальные трубы, заключенные в спаренные между собой железобетонные коллекторы прямоугольного сечения.

Для оценки температурного режима грунтовых оснований и конструктивных слоев дорожных одежд на экспериментальном участке был выбран метод измерения температур при помощи термоэлектрических датчиков сопротивлений. Метод измерения температур при помощи термоэлектрических датчиков сопротивлений широко применяют на практике. Они позволяют получить информацию о температурах в интервале от -260 до -750°C . Действие таких датчиков сопротивления основано на свойстве вещества изменять свое электрическое сопротивление с изменением температуры. Применявшиеся термоэлектрические датчики сопротивления были изготовлены из медной проволоки. Размеры провода составили: диаметр 4 мм, длина -50 мм. Медные термометры сопротивления согласно ГОСТ 6651-78 [1] могут применяться для длительного измерения температуры от -50°C до $+180^{\circ}\text{C}$. Для перевода фактически полученных значений сопротивления в температуру были использованы стандартные градуировочные таблицы [2] для медных термометров сопротивления. В качестве измерительного прибора применялся односторонний мост сопротивления постоянного тока Р-333.

Для установки термоэлектрических датчиков сопротивления была разработана расчетная схема, согласно которой термоэлектрические датчики располагались в каждом конструктивном слое многослойной дорожной конструкции на заданной глубине и расстоянии друг от друга (рисунок 1).

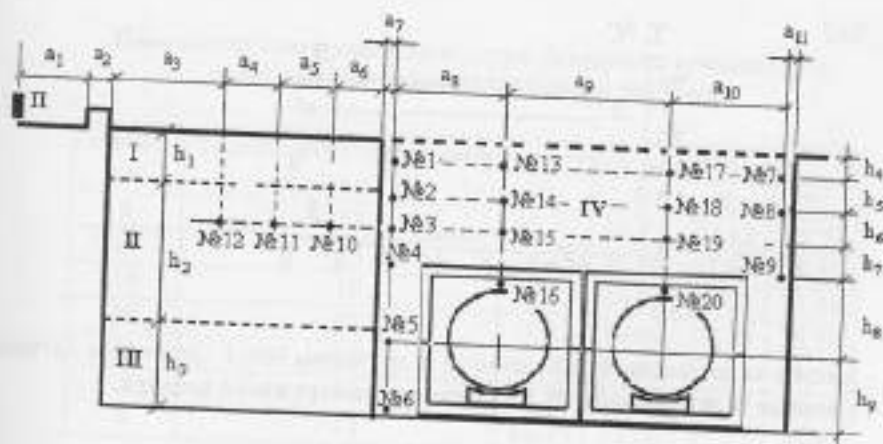
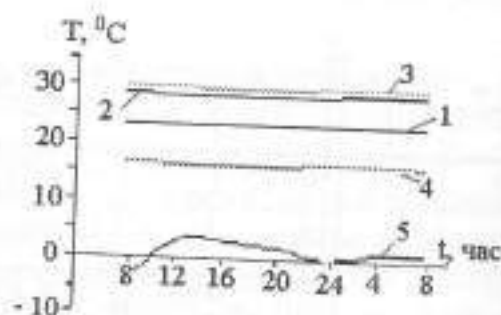


Рис. 1. Схема расположения датчиков

В ходе исследований в зимний период 2002 года, были сделаны суточные замеры два раза в месяц (рисунки 2, 3, 4, 5) для выявления формирования температурного поля грунтового основания городской дорожной конструкции. Но в данной работе приведены одни суточные ежемесячные замеры, так как различий между суточными замерами, проводимыми в один месяц, не наблюдалось из-за того, что температура наружного воздуха не претерпевала значительных изменений, т.е. изменение температуры в датчиках сохраняло стабильный характер. Из суточных замеров выявлено, что даже при минусовых значениях температур наружного воздуха температура грунтового основания сохраняет стабильный характер под действием подземного теплопровода, это доказывает, что температура в датчиках, как видно из рисунков, изменяется плавно.

Таблица 1
Показатели изменений температур в датчиках в течение суток
через каждые 4 часа 23–24 декабря 2002 года

Время, час	Температура наружного воздуха, °С	Номера датчиков			
		2	4	6	15
8	-5	23,69	16,69	30,30	28,78
12	3	23,48	16,48	30,09	28,74
16	3	23,43	16,48	29,95	28,65
20	2	23,30	16,48	29,83	28,61
24	0	23,56	16,56	30,09	28,69
4	1	23,61	16,61	30,26	28,87
8	1	23,65	16,48	30,13	28,78



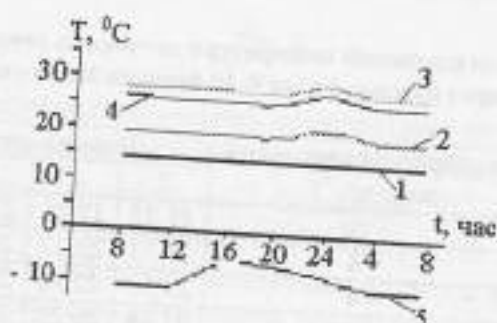
1 – данные за датчиком №2; 2 – данные за датчиком №4; 3 – данные за датчиком №6; 4 – данные за датчиком №15; 5 – температура наружного воздуха.

Рис. 2

Показатели изменений температур в датчиках в течение суток
через каждые 4 часа 19–20 января 2003 года

Таблица 2

Время, час	Температура наружного воздуха, °С	Номера датчиков			
		2	4	6	15
8	-11	14,39	19,26	28,09	26,22
12	-11	14,35	19,30	28,26	26,13
16	-6	14,35	19,34	28,09	26,09
20	-6	14,17	19,22	27,82	25,77
24	-8	14,39	20,91	29,59	27,77
4	-10	14,22	19,13	27,95	25,86
8	-10	14,17	19,17	28,00	25,77



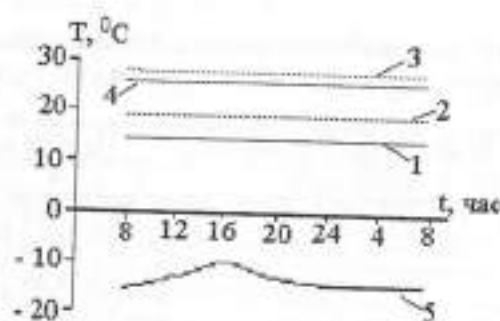
1 — данные за датчиком №2; 2 — данные за датчиком №4; 3 — данные за датчиком №6; 4 — данные за датчиком №15; 5 — температура наружного воздуха.

Рис. 3

Показатели изменений температур в датчиках в течение суток
через каждые 4 часа 25–26 января 2003 года

Таблица 3

Время, час	Температура наружного воздуха, °С	Номера датчиков			
		2	4	6	15
8	15	14,39	19,13	27,82	25,77
12	-13	14,35	19,04	27,68	25,59
16	-10	14,25	19,04	27,68	25,56
20	-13	14,22	19,00	27,73	25,59
24	-14	14,43	19,04	27,73	25,68
4	-14	14,39	19,09	27,77	25,68
8	-14	14,43	19,09	27,77	25,77



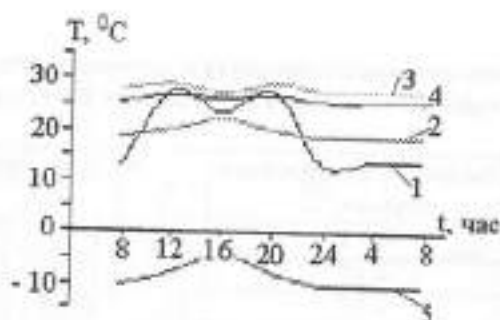
1 – данные за датчиком №2; 2 – данные за датчиком №4; 3 – данные за датчиком №6; 4 – данные за датчиком №15; 5 – температура наружного воздуха.

Рис. 4

Таблица 4

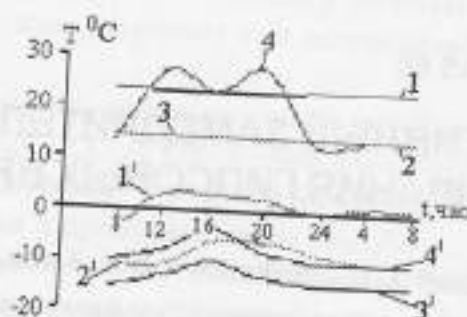
Показатели изменений температур в датчиках в течение суток через каждые 4 часа 9–10 февраля 2003 года

Время, час	Температура наружного воздуха, °C	Номера датчиков			
		2	4	6	15
8	-10	13,27	19,00	27,82	25,64
12	-8	27,73	20,27	29,05	27,00
16	-4	23,52	22,36	27,41	26,22
20	-8	27,68	20,23	29,09	27,05
24	-10	13,32	19,13	27,86	25,77
4	-10	14,26	19,17	27,91	25,71
8	-10	14,23	19,13	27,95	25,82



1 – данные за датчиком №2; 2 – данные за датчиком №4; 3 – данные за датчиком №6; 4 – данные за датчиком №15; 5 – температура наружного воздуха.

Рис. 5



1 – температура датчика за 23–24 декабря; 1' – температура наружного воздуха;
 2 – температура датчика за 19–20 января; 2' – температура наружного воздуха;
 3 – температура датчика за 25–26 января; 3' – температура наружного воздуха;
 4 – температура датчика за 9–10 февраля; 4' – температура наружного воздуха;

Рис. 6

Даже при минусовых значениях температуры воздуха температура датчика №2, расположенного непосредственно между слоем асфальтобетона и фракционного щебня, за 23–24 декабря -5°C , 19–20 января -11°C , 25–26 января -15°C , 9–10 февраля -10°C температура датчиков равняется 23,69; 14,39; 14,39; 13,27 соответственно; из этого мы можем утверждать, что на температуру грунтового основания непосредственно воздействует подземный теплопровод. Температура внутри коллектора меняется относительно изменения температуры наружного воздуха (рис. 6). Например, при $T_{\text{в}} = -20^{\circ}\text{C}$ температура воды в прямом водопроводе составляет $+14^{\circ}\text{C}$, а внутри железобетонного коллектора достигает $+9^{\circ}\text{C}$. А, также учитывая то что, теплопровод проходит только под одной полосой движения, то есть промерзание грунта в зимнее время года имеет место под полосами движения не проходящими над тепловой магистралью.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 ГОСТ 3044–74. Термометры термоэлектрические. Градуировочные табл. и шты при температуре свободных концов 00°C . – М., Госстандарт, 1974.
- 2 ГОСТ 6651–94. Термопреобразователи сопротивления. Общие технические требования и методы испытаний. – М., Госстандарт, 1994.

УДК 666.9.015.65.

ЭФФЕКТИВНЫЙ ЗАМЕДЛИТЕЛЬ СХВАТЫВАНИЯ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ

Ш.К. Торпищев, Г.Т. Тлеуленова, Б.Н. Кабдышева

Павлодарский государственный университет

им. С. Торайгырова

Ұсынылған ұстасу баяулатқышы қоспаны 1000 м дейінгі қашықтыққа құбыр арқылы жылжыту үшін аз шығын қажет етеді. Осы қоспаның қуны өндіріске пайдалануға қолайлы. Аталған өнімді 3–3,5 жыл сақтауға болады.

Использование рекомендуемого замедлителя схватывания обеспечивает минимальные затраты по транспортировке смесей по трубопроводам на расстоянии до 1000 м. Себестоимость данной добавки приемлема для производства в промышленности. Техническая характеристика данного продукта сохраняется в течение 3–3,5 лет.

Use recommended for slowly to seize provides the minimal expenses on transportation of mixes pipelines on distance to 1000 m. The cost price of the given additive is acceptable to manufacture in the industry. The characteristics of the given product is kept during 3–3,5 years.

Для получения растворных и бетонных смесей из гипсовых вяжущих, пригодных для транспортирования по трубопроводам на расстояния свыше 500 м авторы предлагают порошкообразный замедлитель схватывания на основе глюонита (костного клея), модифицированного добавкой кремний органического состава. Он хорошо растворяется в воде и позитивно влияет на реологические свойства смесей.

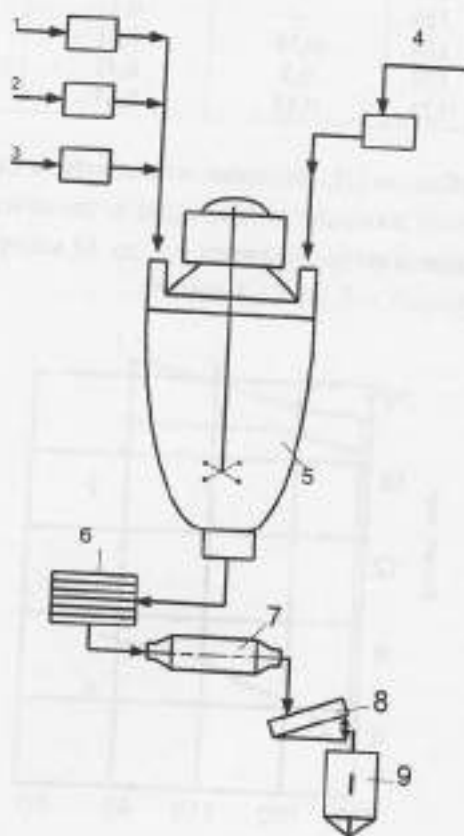
В качестве исходных компонентов используются костный гранулированный клей (ГОСТ 2067-47), негашенная молотая известь (ГОСТ 9179-59), этиловый эфир ортокремневой кислоты (ТУ, МХП 1689-48). Костный клей в количестве 10 ч. загружают в смеситель (рис. 1) и добавляют воду из расчета 4 часть воды на 1 часть по массе клея. Смесь нагревают при 100°C и выдерживают при этой температуре 2,5–3 часа до получения однородного клевого раствора

Объем раствора поддерживают постоянным, периодически добавляя воду. Затем клеевой раствор охлаждают до $20 \pm 5^\circ\text{C}$, вводят этиловый

эфир ортокремниевой кислоты (1–2 части) и молотую известь (11–12 частей). Полученную смесь нагревают при постоянном перемешивании в течении 5–6 часов.

Полученный продукт, представляющий собой пастообразующую массу, сушат при $120 \pm 5^\circ\text{C}$ до остаточной влажности 0,1–0,2%. Высушенный продукт измельчают в шаровой мельнице до получения тонкодисперсного порошка и просеивают через сито №2.

С целью выяснения возможности использования схватывания для приготовления смесей, пригодных для транспортирования на длительные расстояния, авторами исследовано влияние его на сроки схватывания и подвижность растворов смесей на основе гипсового и гипсоцементного вяжущего.



1 – вода; 2 – известь; 3 – клей; 4 – эфир ОКК; 5 – реактор; 6 – сушильная установка; 7 – шаровая мельница; 8 – вибросито; 9 – приемный бункер

Рис.1 – Технологическая схема получения порошкообразного замедлителя схватывания гипса

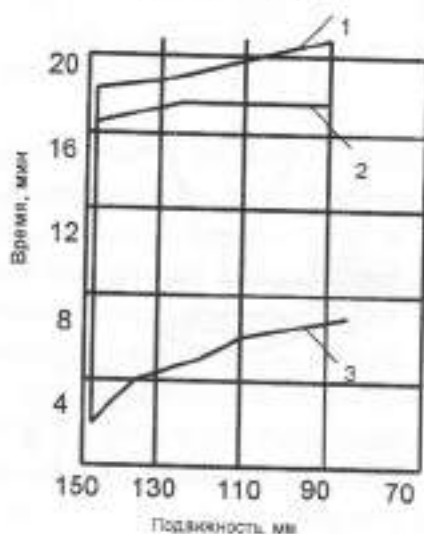
В качестве вяжущего использовались высокопрочный гипс и гипсоцемент (70% гипса + 30% пуццоланового портландцемента).

Результаты испытаний представлены в таблице 1 и на рисунке 2.

Таблица 1

Гипс, гр	Портланд цемент, гр	Вода, мл	Замедлитель схватывания, гр	Водовязущие отношения	Время схватывания мин-сек	
					Начало	Конец
300	-	114	-	0,38	4-10	10-10
300	-	114	0,15	0,38	20-10	32-12
300	-	114	0,3	0,38	38-30	46-00
300	-	114	0,45	0,38	60-40	82-00
210	90	124	-	0,41	6-00	8-20
210	90	124	0,15	0,41	11-20	15-40
210	90	124	0,3	0,41	12-10	18-30
210	90	124	0,45	0,41	17-40	22-55

Как видно из таблицы [1], введение замедлителя схватывания в количестве 0,05% от массы вяжущего, приводит к увеличению времени начала схватывания высокопрочного гипса с 4 до 20 минут, смешанного гипсоцементного вяжущего с 6 до 11,3 минут



- 1 - Гипс высокопрочный - 100%, замедлитель схватывания - 0,05%;
 2 - Гипс высокопрочный - 70%, портландцемент пуццолановый - 30%;
 3 - Гипс высокопрочный - 100%

Рис. 2. Влияние замедлителя на подвижности растворов смесей

Добавка обеспечивает сохранение подвижности смесей (145 мм) в течение 16–18 мин., (без добавки – 3 мин.).

При использовании рекомендуемого замедлителя схватывания обеспечивается транспортабельность смесей по трубопроводам на расстояние до 1000 м. Ориентировочная стоимость добавки – замедлителя схватывания гипсовых вяжущих около 300–320 тенге за 1 кг. Добавка характеризуется значительными преимуществами по сравнению с клеизвестковыми кератиновыми, СДБ; ее можно вводить в состав сухого материала и в воду затворения, хранить (без потери свойств) в течение 3–3,5 лет.

ИНФОРМАЦИЯ

НАШИ АВТОРЫ

Абдрахманов Ермаганбет Сейсембекович – доцент кафедры металлургии, ПГУ им. С.Торайгырова.

Айкенова Назиягуль Есеповна – магистрант кафедры промышленного и гражданского строительства, ПГУ им. С.Торайгырова.

Айтбаев Коблазбек Айтбаевич – старший преподаватель кафедры строительства транспортных сооружений Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М.Тынышпаева, к.т.н, доцент, г.Алматы.

Байтасов Талгат Маратович – доцент кафедры строительства Архитектурно-строительного института Евразийского национального университета им. Л.Н.Гумилева, к.т.н., г. Астана.

Бесбасаров Исабай Исакович – старший научный сотрудник кафедры экономики, организации и планировании производства Таразского государственного университета им. М.Х. Дулати; зав. лабораторией «Основания и фундаменты» Южно-Казахстанского ДГП КазНИИС-СА, к.т.н., доцент, г. Тараз.

Большовская Л.И. – старший преподаватель кафедры высшей математики, ПаУ, г. Павлодар.

Дроботун Борис Николаевич – доцент кафедры алгебры, геометрии и методики преподавания математики, к.ф.-м.н., доцент, ПГУ им. С.Торайгырова.

Ельмуратов Сембай Кайкенович – зав. кафедрой промышленного и гражданского строительства, к.т.н, профессор, ПГУ им. С.Торайгырова.

Исабаева Манар Амягельдиевна – аспирант ПГУ им. С.Торайгырова.

Кабдышева Бахытгуль Нурумхановна – старший преподаватель, кафедры промышленного и гражданского строительства, ПГУ им. С.Торайгырова.

Кайдаров Кажикен Кабышевич – к.ф.-м.н., профессор Павлодарского университета.

Касенов Булат Кунурович – зам. директора по научной работе, Институт фитохимии МОН РК, д.х.н., профессор, г.Караганда.

Касенова Шуга Булатовна – Институт фитохимии МОН РК, к.х.н., г.Караганда.

Кябартене Юлия Викторовна – старший преподаватель кафедры АЭП и ЭТУ, института энергетики и автоматизации, ПГУ им. С.Торайгырова.

Козынов Валерий Александрович – доцент кафедры инженерных систем и геотехнических сооружений, к.т.н, ПГУ им. С.Торайгырова.

Кудерин Марат Крякбаевич – директор Архитектурно-строительного института, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, к.т.н, ПГУ им. С.Торайгырова.

Литчанский Анатолий Алексеевич – доцент Северо-Казахстанского государственного университета им. М.Козыбаева, г.Петропавловск.

Мустафина Гульжаухар Мухаметжаровна – старший преподаватель кафедры теоретических основ электротехники, ПГУ им. С.Торайгырова.

Мустафина Ранса Мухаметжаровна – профессор кафедры теоретических основ электротехники, к.т.н, доцент, ПГУ им. С.Торайгырова.

Ниязгина Ольга Владимировна – магистрант кафедры машиностроения и сварки, ПГУ им. С.Торайгырова.

Нураков Серик Нуракович – кафедра сварки, дартизации и сертификации Евразийского национального университета им. Л.Н.Гумилева, д.т.н., профессор, Астана.

Нухулы Алтынбек – ректор Многопрофильного гуманитарно-технического университета, д.х.н., профессор, г. Караганда.

Парамонов Данил Федорович – ведущий специалист Центра экспертиз, г. Павлодар.

Парамонов Федор Павлович – профессор кафедры химических технологий, к.х.н. ПГУ им. С.Торайгырова.

Проскуриков Анатолий Федорович – доцент кафедры машиностроения и стандартизации, к.т.н. ПГУ им. С.Торайгырова.

Рядин Владимир Витальевич – профессор кафедры двигателей и организации дорожного движения, к.т.н. ПГУ им. С.Торайгырова.

Рядина Диана Владимировна – магистр техники и технологии, ассистент кафедры тепловых электрических станций и теплоэнергетики ПГУ им. С.Торайгырова.

Сабилов Турсын – зав. кафедрой высшей и прикладной математики, профессор, ПГУ им. С.Торайгырова.

Салытаева Женисгуль Имангалевна – Институт фитохимии МОН РК, к.х.н., г. Караганда.

Саканов Дархан Куандыкович – аспирант кафедры строительства транспортных сооружений, Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М.Тынышпаева, г. Алматы.

Сарымов Ермек Калымович – преподаватель кафедры основ и конструирования машин, ПГУ им. С.Торайгырова.

Смаилова Бахытгуль Оразиевна – ассистент кафедры промышленного и гражданского строительства, ПГУ им. С.Торайгырова.

Станевич Виктор Талеуевич – зав. кафедрой инженерных систем и геотехни-

ческих сооружений, к.т.н, доцент, ПГУ им. С.Торайгырова.

Теттаев Багдат Бурхамбайулы – зав. кафедрой строительства транспортных сооружений, Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М.Тынышпаева, д.т.н., профессор, г. Алматы.

Ткаченко Владимир Васильевич – зав. кафедрой электроснабжения и электрификации сельских предприятий, Костанайский государственный университет им. А.Байтурсынова.

Тлеуленова Гульшат Талеуовна – ассистент кафедры промышленного и гражданского строительства, ПГУ им. С.Торайгырова.

Торшицев Шамиль Камильевич – кафедра промышленного и гражданского строительства, к.т.н., доцент, ПГУ им. С.Торайгырова.

Турсынбаева Зауре Дуйсебековна – магистрант кафедры электроэнергетики, ПГУ им. С.Торайгырова.

Украинец Виталий Николаевич – к.ф.м.н., доцент, ПГУ им. С.Торайгырова.

Утегулов Арман Болатбекович – аспирант кафедры электроэнергетики, ПГУ им. С.Торайгырова.

Утегулов Болатбек Бахитжанович – зав. кафедрой электроэнергетики, д.т.н., профессор, ПГУ им. С.Торайгырова.

Утегулова Дана Болатбековна – аспирант кафедры электроэнергетики, ПГУ им. С.Торайгырова.

Шайхина Дана Бериковна – магистрант кафедры промышленного и гражданского строительства, ПГУ им. С.Торайгырова.

Шамрай Николай Михайлович – старший преподаватель кафедры профессионального обучения и инженерной графики, магистр, ПГУ им. С.Торайгырова.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. В журнал принимаются рукописи статей по всем направлениям естественных и технических наук в двух экземплярах, набранных на компьютере, напечатанных на одной стороне листа с полуторным межстрочным интервалом, с полями 3 см со всех сторон листа, и дискета со всеми материалами в текстовом редакторе "Word 7.0 (97, 2000) для Windows" (кегель – 12 пунктов, гарнитура – Times New Roman/KZ Times New Roman).

2. Статья подписывается всеми авторами. Общий объем рукописи, включая аннотацию, литературу, таблицы и рисунки, не должен превышать 8-10 страниц.

3. Статья должна сопровождаться рецензией доктора или кандидата наук для авторов, не имеющих ученой степени.

4. Статьи должны быть оформлены в строгом соответствии со следующими правилами:

– УДК по таблицам универсальной десятичной классификация;

– название статьи: кегель – 14 пунктов, гарнитура – Times New Roman Cyr (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка), заглавные, жирные, абзац индентированный;

– инициалы фамилия(-и) автора(-ов), полное название учреждения: кегель – 12 пунктов, гарнитура – Arial (для русского, английского и немецкого языков), KZ Arial (для казахского языка), абзац центрированный;

– аннотация на казахском, русском и английском языках: кегель – 10 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ Times New Roman (для казахского языка), курсив, отступ слева-справа – 1 см, одинарный межстрочный интервал;

– текст статьи: кегель – 12 пунктов, гарнитура – Times New Roman (для русского, английского и немецкого языков), KZ

Times New Roman (для казахского языка), полуторный межстрочный интервал;

– список использованной литературы (ссылки и примечания в рукописи обозначаются сквозной нумерацией и заключаются в квадратные скобки). Список литературы должен быть оформлен в соответствии с ГОСТ 7.1-84. – например:

ЛИТЕРАТУРА

1. Автор. Название статьи // Название журнала. Год издания. Том (например, Т.26.) – номер (например, № 3.) – страница (например, С. 34, или С.15-24.)

2. Андреева С.А. Название книги. Место издания (например, М.) Издательство (например, Наука), год издания. Общее число страниц в книге (например, 239 с.) или конкретная страница (например, С. 67.)

3. Петров И.И. Название диссертации: дисс. канд. биол. наук. М.: Название института, год. Число страниц.

4. C.Christopoulos, The transmission-Line Modelling (TML) Method, Piscataway, NJ: IEEE Press, 1995.

На отдельной странице (в бумажном и электронном варианте) приводятся сведения об авторе:

– Ф.И.О. полностью, ученая степень и ученое звание, место работы (для публикации в разделе «Наши авторы»);

– полные почтовые адреса, номера служебного и домашнего телефонов, E-mail (для связи редакции с авторами не публикуются);

– название статьи и фамилия(-и) автора(-ов) на казахском, русском и английском языках (для «Содержания»);

4. Иллюстрации. Перечень рисунков и подрисовочные надписи к ним представляют отдельно и в общий текст статьи не включают. На обратной стороне каждого рисунка следует указать его номер, название рисунка, фамилию автора, название статьи. На дискете рисунки выво-

добрации в формате TIF или JPG с разрешением не менее 300 dpi (файлы с названием «Рис1», «Рис2», «Рис3» и т.д.).

5. Математические формулы должны быть набраны как Microsoft Equation (каждая формула – один объект). Нумеровать следует лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

6. Автор просматривает и визирует гранки статьи и несет ответственность за содержание статьи.

7. Редакция не занимается литературной и стилистической обработкой статьи. Рукописи и дискеты не возвращаются.

Статьи, оформленные с нарушением требований, к публикации не принимаются и возвращаются авторам.

8. Рукопись и дискету с материалами следует направлять по адресу:

637034, Республика Казахстан,
г.Павлодар, ул. Ломова 64,

Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова,

«Научный издательский центр ПГУ»,
Тел. (3182) 45-11-23, 45-11-43,

факс: (3182) 45-11-23.

E-mail: publish@psu.kz

Подписано в печать 11.03.2004 г
Формат 297×420/2. Бумага книжно-журнальная.
Объем 6,1 уч.-изд. л. Тираж 300 экз.
Заказ № 0403.

Научный издательский центр
Павлодарского государственного университета
им. С. Торайгырова
637034, г. Павлодар, ул. Ломова 64.