

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РФ

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ

**ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ**

СТРОИТЕЛЬСТВО

№ 6 (618)

Июнь 2010 г.

Научно-теоретический журнал
Издается с марта 1958 г.
Выходит один раз в месяц

Главный редактор В. Г. Себешев

Редакционная коллегия: А. А. Афанасьев, В. Л. Баладинский, Т. И. Баранова, В. А. Воробьев, П. А. Дмитриев, В. А. Игнатьев, В. И. Костин (зам. гл. редактора), Г. Б. Лебедев (зам. гл. редактора), Е. М. Лобанов, Л. С. Ляхович, В. И. Морозов, Ю. П. Панибратов, Ю. А. Попов, Ю. П. Правдивец, В. Г. Себешев, И. Б. Соколов, Ю. А. Феофанов, Е. М. Чернышов

Ответственный секретарь Н. В. Биткина

Адрес редакции:

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113.

Тел./факс 266-28-59.

www.sibstrin.ru E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

Свидетельство о регистрации № 993 от 28.11.90 г.

Подписано в печать 21.06.10. Формат 70×108¹/16.
Усл. печ. л. 10,68+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 444.

ООО «Партнеры Сибири»,
630005, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 16.

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2010

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

- Митасов В.М., Адищев В.В.** Основные положения энергетической теории сопротивления железобетона 3

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Овчаренко Г.И., Хижникова Е.Ю., Горн К.С.** Влияние активации цементно-зольных композиций на прочность камня 9

- Селяев В.П., Куприяшкина Л.И., Нураева Г.Р., Козлов П.С.** Изменение кинетики твердения наполненных цементных композитов 14

- Ильина Л.В., Бердов Г.И., Мельников А.В.** Влияние продолжительности и условий хранения портландцемента на его свойства 19

- Кузнецова И.Н., Кузнецова О.А., Косач А.Ф., Ращупкина М.А., Гутарева Н.А.** Влияние минерального состава и пористой структуры межпоровых перегородок на теплопроводность пенобетона 24

- Куликов В.А., Абдрахимов В.З., Ковков И.В.** Влияние твердого нефтесодержащего отхода сепарации нефтешлама на фазовый состав и физико-механические свойства керамзита 28

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА	
АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА	
Калугин Ю.Б. Расчет вероятностных параметров параллельных работ	35
САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА	
Шиляев М.И., Хромова Е.М., Тумашова А.В. Сравнение прямоточных и противоточных аппаратов конденсационного улавливания тонкодисперсной пыли	43
Гришин Б.М., Бикунова М.В., Титов Е.А., Голубев В.В., Сафонов М.А. Исследования реагентосберегающего способа коагуляционной очистки воды поверхностного источника	48
Фоминых В.А. Критериальная методика технико-экономического обоснования эффективности работы фильтровальных сооружений	56
Халтурин Т.И., Чурбакова О.В., Курилина Т.А. Интенсификация гальваникоагуляционного обезвреживания медсодержащих сточных вод	59
СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ	
Завьялов А.М., Терещенко А.А., Завьялов М.А. Проектирование оптимальных режимов укатки асфальтобетонной смеси катками статического действия	64
СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ	
Егоров В.Ф. Снижение неравномерности нагрузок позиционных механизмов ...	69
Семикопенко И.А., Воронов В.П., Пензев П.П. Агрегат предварительной классификации и помола материала.....	76
НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ	
Скрябин П.В. Предпосылки и ограничения градостроительного освоения территории Горного Алтая для рекреационной деятельности	83
Орлова Е.Ю., Вольская Л.Н. Особенности развития русского стиля в советской архитектуре (1917–1990 гг.)	91
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
Гошко Е.Ю., Зеркаль С.М., Шевченко Ю.С. Вычислительное моделирование в инженерной сейсмоакустике при проектировании строительных сооружений	99
Хархардин А.Н. Потенциалы и силы парного межмолекулярного взаимодействия атомов, микро- и наночастиц	109
В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ	
Смолин Ю.П., Белобородов В.Н. Исследование динамических воздействий при забивке свай на близкорасположенные сооружения	117

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

УДК 624.012.45

В.М. МИТАСОВ, В.В. АДИЩЕВ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Изложены основные принципы расчета железобетонных конструкций на прочность, жесткость и трещиностойкость. Решена задача перехода железобетонного сечения из состояния «сплошное» в состояние «с трещиной в растянутой зоне» с определением глубины образовавшейся трещины. Используется диаграммно-энергетический подход. Система уравнений, описывающая напряженно-деформированное состояние в расчетном сечении, замыкается интегральным уравнением баланса плотности энергии деформирования. Предложен алгоритм «сквозного» расчета на прочность, жесткость и трещиностойкость на любом этапе нагружения.

Ключевые слова: метод расчетных сечений, диаграммно-энергетический подход, удельная энергия деформирования, алгоритм сквозного расчета, уравнение энергетического баланса, жесткость, трещиностойкость.

В настоящее время в инженерных и численных расчетах железобетона при определении прочности, жесткости и трещиностойкости в основу расчетов положена классическая теория — «метод расчетных сечений» [1], основателями которого следует считать проф. А.Ф. Лолейта, А.А. Гвоздева и В.И. Мурашева. Множество их последователей совершенствовали этот метод. Он был принят за основу при разработке ныне действующего метода расчета по предельным состояниям. При безусловных его достоинствах он не свободен от недостатков. Главный из них, на наш взгляд, это отсутствие единобразия в расчетных предпосылках и методологии решения задач для первой и второй групп предельных состояний. Невозможностьстыковки этих подходов обусловлена отсутствием решения задачи перехода от стадии Ia к стадии II. В работах [2, 3] предложены пути решения этой проблемы, что позволило построить алгоритм сквозного расчета прочности, жесткости и трещиностойкости на любом этапе нагружения конструкции.

Рассмотрим поставленную задачу в рамках принятых гипотез [4] для каждой из стадий работы железобетонного изгибающего элемента под нагрузкой.

Стадия I. Напряженно-деформированное состояние железобетонного сечения может быть определено из решения уравнений статики:

$$N_s + N_b = N, \quad (1)$$

$$M_s + M_b = M, \quad (2)$$

где N_s , N_b , N — результирующие внутренних (в бетоне и арматуре) и внешних сил соответственно;

M_s , M_b , M — моменты внутренних и внешних сил.

При этом сечения могут находиться в следующих состояниях (рисунок): по всей высоте сечения напряжения имеют один знак: сжатие — a , растяжение — b ; по высоте сечения возможны напряжения противоположных знаков — \bar{b} .

Усилия и моменты, входящие в уравнения системы (1), (2), могут быть приведены к следующему виду.

Для схемы a , когда $h \leq x \leq \infty$,

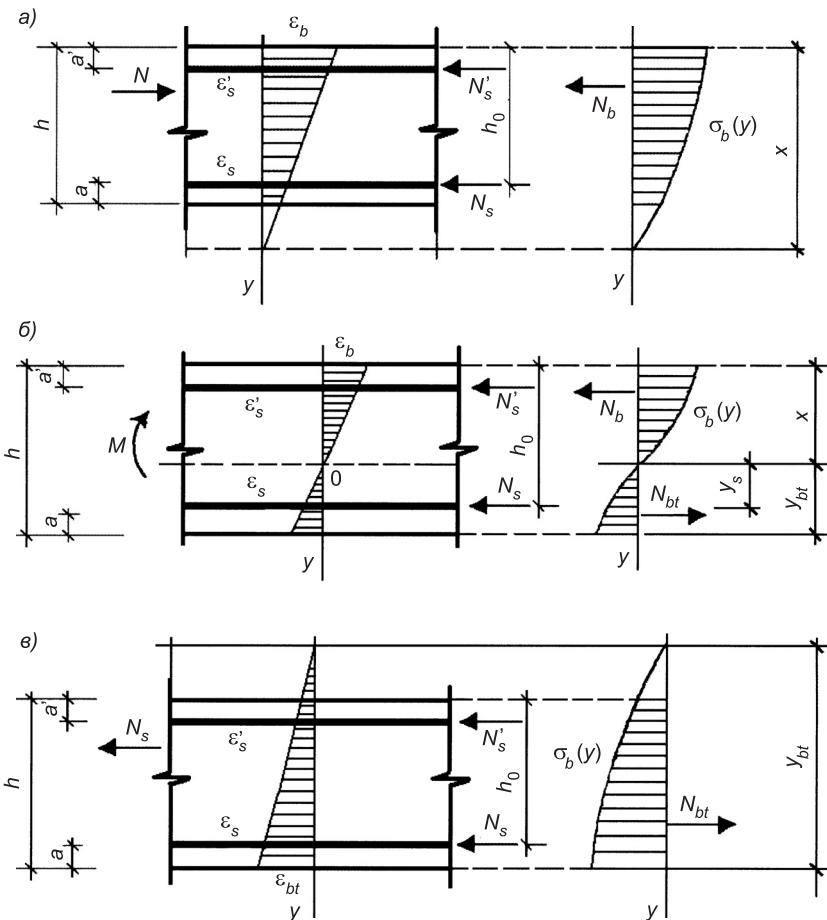
$$N_b = \int_{-x}^{h-x} \sigma_b(y) b(y) dy, \quad N_s = \sum_j \sigma_{sj} A_{sj}; \quad (3)$$

$$M_b = \int_{-x}^{h-x} \sigma_b(y) b(y) y dy, \quad M_s = \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} (h_{0j} - x). \quad (4)$$

Здесь $b(y)$ — переменная по высоте сечения ширина элемента.

Кинематические соотношения, соответствующие гипотезе прямых нормалей, принимают вид

$$\varepsilon_{bm} = \left(\frac{x}{x - h_0} \right) \varepsilon_s, \quad \varepsilon_{bh} = \left(\frac{h - x}{h_0 - x} \right) \varepsilon_s, \quad r = \frac{-x}{\varepsilon_b}, \quad y = r\varepsilon = \left(\frac{-x}{\varepsilon_b} \right) \varepsilon, \quad (5)$$



Расчетные схемы деформирования до образования трещин

a — сечение полностью сжато; \bar{b} — в сечении напряжения двух знаков; b — сечение полностью растянуто

где ε_{bm} , ε_{bh} , ε_s — соответственно деформации на наиболее сжатом волокне, наименее сжатом волокне, в арматуре у наименее сжатого волокна; r — радиус кривизны элемента в рассматриваемом сечении.

Заменим переменную y на $r\varepsilon$, что повлечет за собой замену пределов интегрирования, а также замену $\sigma_b(y)$ на $\psi(\varepsilon)$ — функцию, аппроксимирующую диаграмму деформирования бетона, трансформированную в зависимости от напряженно-деформированного состояния сечения.

В результате получим

$$N_b = \int_{-x}^{h-x} \sigma_b(y) b(y) dy = r \int_{\varepsilon_{bm}}^{\varepsilon_{bh}} \psi(\varepsilon) b(r\varepsilon) d\varepsilon = \frac{-x}{\varepsilon_b} \int_{\varepsilon_{bm}}^{\varepsilon_{bh}} \psi(\varepsilon) b(r\varepsilon) d\varepsilon, \quad (6)$$

соответственно

$$M_b = \frac{x^2}{\varepsilon_b^2} \int_{\varepsilon_{bm}}^{\varepsilon_{bh}} \psi(\varepsilon) b(r\varepsilon) \varepsilon d\varepsilon. \quad (7)$$

Для схемы б, когда $0 < x < h$, выражения (3), (4) не изменятся, а в соотношениях (5)–(7) граница ε_{bh} заменяется на ε_{bt} — деформации наиболее растянутого волокна:

$$N_b = \frac{-x}{\varepsilon_b} \int_{\varepsilon_{bm}}^{\varepsilon_{bt}} \psi(\varepsilon) b(r\varepsilon) d\varepsilon, \quad (8)$$

$$M_b = \frac{x^2}{\varepsilon_b^2} \int_{\varepsilon_{bm}}^{\varepsilon_{bt}} \psi(\varepsilon) b(r\varepsilon) \varepsilon d\varepsilon. \quad (9)$$

Для схемы в, когда сжатая зона отсутствует, граничные условия целесообразно записать относительно параметра y_{bt} (расстояние от нулевой линии до наиболее растянутого волокна):

$$h \leq y_{bt} < \infty.$$

После замены переменных результирующие усилия и моменты принимают вид

$$N_{bt} = \frac{y_{bt}}{\varepsilon_{bt}} \int_{\varepsilon_{bth}}^{\varepsilon_{bt}} \psi(\varepsilon) b(r\varepsilon) d\varepsilon, \quad (10)$$

$$M_{bt} = \frac{y_{bt}^2}{\varepsilon_{bt}^2} \int_{\varepsilon_{bth}}^{\varepsilon_{bt}} \psi(\varepsilon) b(r\varepsilon) \varepsilon d\varepsilon. \quad (11)$$

Стадия Ia с точки зрения формализации расчетного аппарата ничем не отличается от предыдущей, и форма записи уравнений статики не претерпевает никаких изменений. Однако величина ε_{bt} в уравнениях статики может быть использована лишь для схем *б* и *в*, так как на схеме *а* сечение полностью сжато. Для предельного состояния растянутой зоны принимаем $\varepsilon_{bt} = \varepsilon_{bt}^*$. Особенность решения системы уравнений для этой стадии состоит в определении ε_{bt} , что связано с исследованиями характера диаграммы работы бетона $\sigma_b - \varepsilon_b$ при различных условиях деформирования.

Стадия Ib соответствует деформированию железобетонного сечения, часть которого разрушена. Особенностью записи уравнений на этой стадии является отказ от геометрической гипотезы на части сечения, рав-

ной высоте трещины. Тогда система уравнений равновесия для двузначной эпюры напряжений записывается в следующем виде:

$$\int_{-x}^{h_{cr}-x} \sigma_b(y) b(y) dy + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} = N, \quad (12)$$

$$\int_{-x}^{h_{cr}-x} \sigma_b(y) b(y) y dy + \sum_j \sigma_{sj} S_{sj} = M.$$

После замены переменных:

$$\frac{-x}{\varepsilon_{bm}} \int_{\varepsilon_{bm}}^{\varepsilon_{bt}} \psi(\varepsilon) b(-x\varepsilon/\varepsilon_{bm}) d\varepsilon + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} = N; \quad (13)$$

$$\frac{x^2}{\varepsilon_{bm}^2} \int_{\varepsilon_{bm}}^{\varepsilon_{bt}} \psi(\varepsilon) b(-x\varepsilon/\varepsilon_{bm}) \varepsilon d\varepsilon + \sum_j \sigma_{sj} S_{sj} = M. \quad (14)$$

Здесь h_{cr} — высота «живой» части сечения.

При описании состояния после появления трещины к (13) и (14) добавляется уравнение перераспределения энергии с растянутого бетона на арматуру

$$\int_{h_{cr}-x}^{h-x} b(y) \int_0^{\varepsilon(y)} \psi(\varepsilon) d\varepsilon dy = \sum_j A_{sj} \int_{\varepsilon_{sj}^*}^{\varepsilon_{sj}^* + \Delta\varepsilon_{sj}} \Phi(\varepsilon) d\varepsilon, \quad (15)$$

где $\Phi(\varepsilon)$ — аналитическая аппроксимация диаграммы деформирования арматуры,

$$\sigma_s(\varepsilon) = \Phi(\varepsilon). \quad (16)$$

Система уравнений (13)–(16) замыкается уравнением баланса плотности энергии, учитывающим работу внешних сил на дополнительных смещениях элемента после образования трещины. Для двузначной эпюры напряжений это уравнение принимает вид

$$W_{bt} + W_b + \delta W_k = W_{bt}^d + W_b^d + \Delta W_s^d + \Delta W_t, \quad (17)$$

где δW_k — плотность дополнительной работы внешних сил; W_b , W_{bt} , W_b^d , W_{bt}^d — удельная энергия деформирования сжатого и растянутого бетонов до образования трещины и в динамическом состоянии;

ΔW_s^d — дополнительная работа внутренних сил, которая может быть получена из уравнений (15), (16);

ΔW_t — плотность рассеянной энергии в разрушенной части сечения; $\delta u(z) = u^d(z) - u^*(z)$ — функция прогибов элемента соответственно до и после образования трещин.

Для полностью растянутых сечений достижение $\varepsilon_{bt} = \varepsilon_{bt}^*$ означает выключение бетона из работы, и хотя на этом этапе происходят все процессы, аналогичные предыдущим, значения для расчета сечений по этой схеме они не имеют. Далее пренебрегаем работой растянутого бетона, а сопротивление растяжению арматуры будем рассматривать по аналогии со стадией II.

Стадия II. С увеличением внешней нагрузки состояние сечения с трещиной изменяется: она растет по ширине и высоте сечения. Для

определения напряженно-деформированного состояния сечения на этой стадии можно воспользоваться системой уравнений (13)–(17). Увеличивая внешнюю нагрузку, будем получать новые состояния сечения.

Решение задачи на данном этапе может быть упрощено предварительным определением условного исходного состояния из уравнений статики:

$$\int_{\varepsilon_{bm}}^{\varepsilon_{bt}} \psi(\varepsilon) b(r\varepsilon) d\varepsilon - \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} = \pm N; \quad (18)$$

$$\int_{\varepsilon_{bm}}^{\varepsilon_{bt}} \psi(\varepsilon) b(r\varepsilon) \varepsilon d\varepsilon + \sum_j \sigma_{sj} S_{sj} = M. \quad (19)$$

Затем задача сводится к решению системы уравнений, аналогичной системе для стадии Iб. Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к стадии IIа.

Стадия IIа. Здесь используется энергетический критерий разрушения бетона при сжатии:

$$W_u^b = \int_0^{\varepsilon_b^*} \psi(\varepsilon) d\varepsilon = \text{const.} \quad (20)$$

В уравнениях равновесия величины ε_{bm} заменяются на ε_b^* .

Описанный алгоритм «сквозного решения» позволяет определять напряженно-деформированное состояние на любом этапе нагружения — от начала нагружения до разрушения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мурашев, В.И. Трещиноустойчивость, жесткость и прочность железобетона [Текст] / В.И. Мурашев. — М. : Машстройиздат, 1950. — 258 с.
2. Митасов, В.М. Определение напряжений арматуры железобетонного элемента в сечении с трещиной [Текст] / В.М. Митасов // Изв. вузов. Строительство и архитектура. — 1988. — № 3. — С. 116–118.
3. Митасов, В.М. Развитие теории сопротивления железобетона. Аналитический обзор [Текст] / В.М. Митасов, В.В. Адищев, Д.А. Федоров // Промышленность строительных материалов. Промышленность сборного железобетона. — 1991. — Вып. 4. — С. 1–44.
4. Митасов, В.М. Основные предпосылки построения энергетической теории сопротивления железобетона [Текст] / В.М. Митасов, В.В. Адищев // Изв. вузов. Строительство и архитектура. — 2010. — № 5.

МИТАСОВ В.М., д-р техн. наук, проф.; E-mail: mitassovv@mail.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

АДИЩЕВ В.В., д-р техн. наук, проф.; E-mail: adishch@mail.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

Получено после доработки 30.03.10

Mitasov V.M., doctor of technical sciences, professor; E-mail: mitassovv@mail.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Adishchev V.V., doctor of technical sciences, professor; E-mail: adishch@mail.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

MAIN REGULATIONS OF ENERGY THEORY OF REINFORCED CONCRETE STRENGTH

Main regulations of strength, rigidity and crack-resistance calculation of reinforced concrete structures are given in this article. The task of transition of reinforced concrete cross section from the «solid» state to the state of «section with a crack in tension zone» has been solved and the depth of the formed crack has been determined. Diagram-energy method is used. Combined equations describing the stress-strained state in design cross sections are closed by integral equation of balance of energy density of the deformation. The algorithm of a «through» calculation of strength, rigidity and crack-resistance at any stage of loading.

Key words: design cross-sections method, diagram-energy method, specific energy of deformation, through calculation algorithm, energy balance equation, rigidity, crack-resistance.

REFERENCES

1. Murashev, V.I. Crack-resistance, rigidity and strength of reinforced concrete [Text] / V.I. Murashev. — M.: Mashstroyizdat, 1950. — 258 p.
 2. Mitasov, V.M. Determination of stress in reinforcement of reinforced concrete member in cross section with a crack [Text] / V.M. Mitasov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 1988. — N 3. — P. 116–118.
 3. Mitasov, V.M. Development of the strength of reinforced concrete theory. Analytical review [Text] / V. M. Mitasov, V.V. Adishchev, D.A. Fedorov // The industry of building materials. The industry of precast reinforced concrete. — 1991. — V. 4. — P. 1–44.
 4. Mitasov, V.M. Main preconditions of creating energy theory of reinforced concrete strength [Text] / V.M. Mitasov, V.V. Adishchev // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2010. — N 5.
-

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.327:666.973.2:662.613.11

Г.И. ОВЧАРЕНКО, Е.Ю. ХИЖИНКОВА, К.С. ГОРН

ВЛИЯНИЕ АКТИВАЦИИ ЦЕМЕНТНО-ЗОЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ПРОЧНОСТЬ КАМНЯ

Представлены результаты исследования влияния раздельной активации цемента и высококальциевой золы ТЭЦ в роторно-пульсационном аппарате на активность вяжущего. Показана целесообразность активирования цементной суспензии с последующим добавлением неактивированной золы.

Ключевые слова: цемент, высококальциевая зола ТЭЦ, активация, роторно-пульсационный аппарат.

В технологии бетонов всегда были востребованы различные методы активации цементных вяжущих композиций. Среди таких способов широкое распространение получило применение химических добавок и доизмельчение. В последнее время вызывает интерес активация цементных композиций в водной среде в аппаратах типа РПА (роторно-пульсационный аппарат) [1], которые осуществляют над обрабатываемым продуктом измельчение, перекачивание и нагревание. Известно, что гидромеханическая обработка цементной суспензии в данном аппарате может увеличить прочность камня примерно на 30...40 %. Мокрый домол в РПА позволяет получать цемент с удельной поверхностью до 5000 см²/г при удельных энергозатратах на 1 т цемента, составляющих всего 8,8 кВт·ч [2].

Ранее нами было показано, что активация цементно-зольной суспензии в РПА, содержащей 40 % высококальциевой золы вместо цемента, также увеличивает прочность цементно-зольного камня на 20...40 %. Оба вида суспензий в присутствии Na₂SO₄ увеличивают прочность камня, особенно в раннем возрасте. Однако в марочном возрасте эффект от гидромеханической активации достигает только 10...15 %. Суммарный же эффект от воздействия добавки и активации в РПА достаточно высокий: 40 % — для цементно-зольной композиции и 70 % — для цементной [3].

В настоящей статье рассматриваются особенности раздельной активации цементно-зольных композиций в РПА.

В работе использовались: ПЦ М400 Д20 Искитимского цементного завода, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия»; высококальциевая зола (ВКЗ) ТЭЦ-3 (г. Барнаул) от сжигания угля Ирша-Бородинского разреза Канско-Ачинского месторождения с содержанием свободной извести 4,8 %, остатком на сите № 008 — 9 %, количеством потерь при прокаливании 5 %, началом схватывания через 10 мин и концом — через 60 мин; песок полевошпатовый с поймы р. Оби с модулем крупности 1,2 и количеством глинистых и илистых примесей 3,5 %; вода водопроводная питьевая.

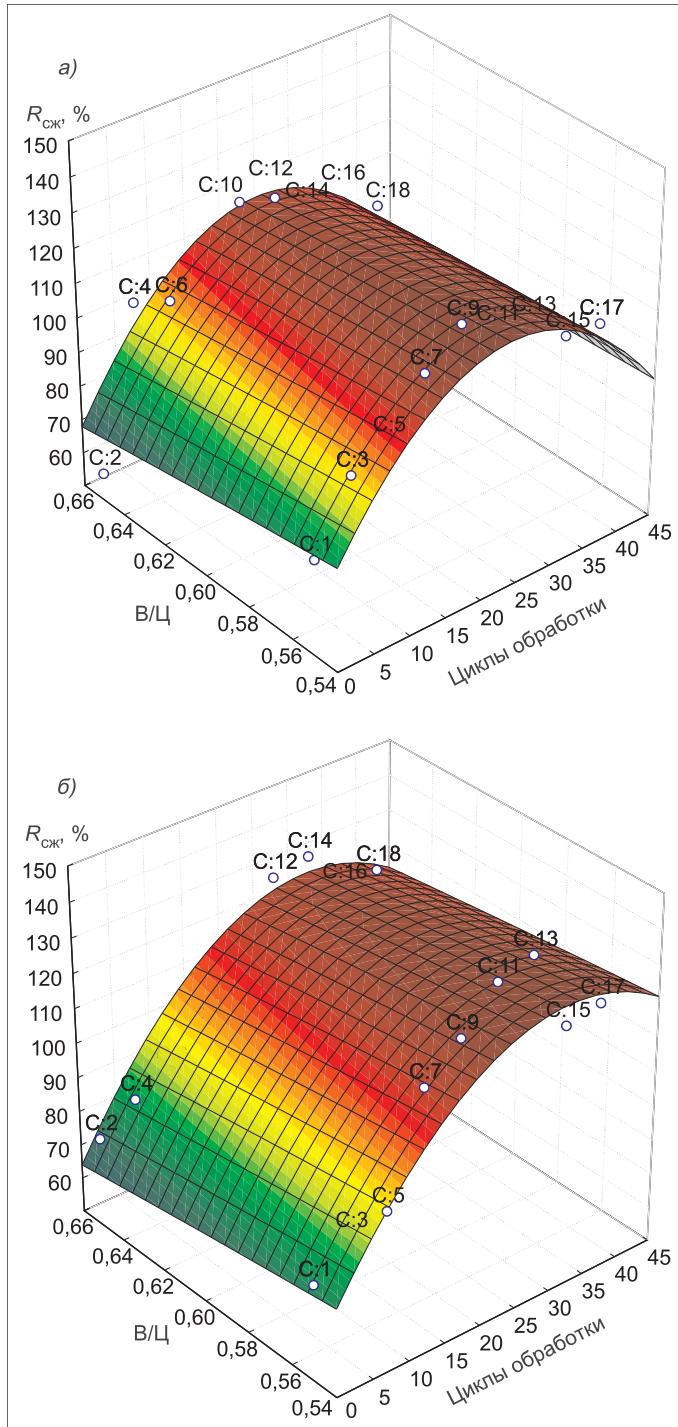


Рис. 1. Зависимость прочности (%) растворного камня после ТВО (а) и твердевшего при нормальных условиях (б) от В/Ц и циклов обработки в РПА цементно-водной суспензии при последующем добавлении неактивированной высококальциевой золы

Применяемый РПА изготовлен на основе центробежного консольного насоса типа «К» 20/18 с диаметром рабочего колеса дисембратора 180 мм и мощностью электродвигателя 6,0 кВт. Активация суспензий в РПА осуществлялась при водоцементном отношении (В/Ц) от 0,55 до

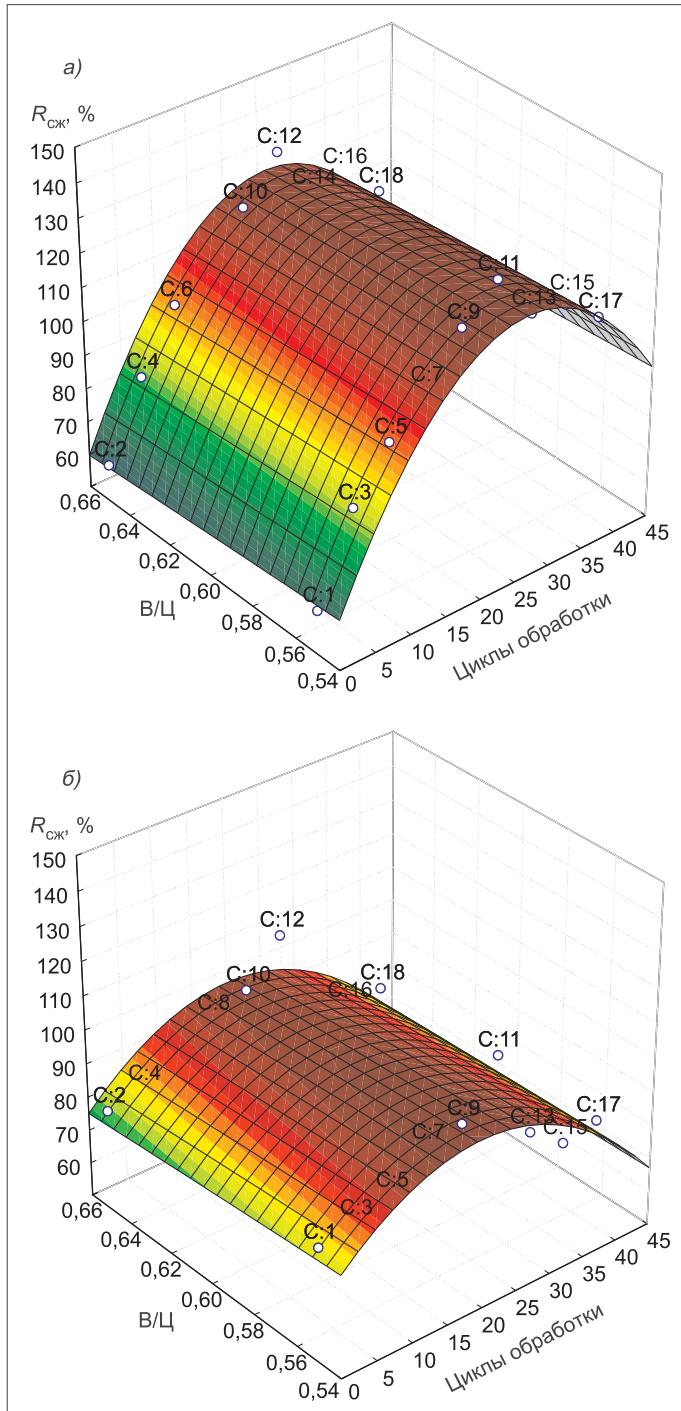


Рис. 2. Зависимость прочности (%) растворного камня после ТВО (а) и твердевшего при нормальных условиях (б) от В/Ц и циклов обработки в РПА зольно-водной суспензии при последующем добавлении неактивированного цемента

0,65 с повторением необходимого количества циклов от 5 до 45. За один цикл принималось прохождение через активатор суспензий в количестве 10 л за время, равное 50 с. Доля золы в цементно-зольной композиции составляла 40 %; за 100 % принималась прочность раствора на цементе без какой-либо его обработки. Активность вяжущих испытывалась на об-

разцах размером $4 \times 4 \times 16$ см из цементно-зольного раствора с песком в соотношении 1:3 после твердения в нормальных условиях (НУ) или при пропаривании по режиму 3 + 3 + 3 ч при 60 °C.

Первоначальные исследования показали, что при обработке в РПА цементной суспензии с последующим добавлением неактивированной золы в количестве 40 % вместо цемента прочность растворных образцов как при В/Ц 0,55, так и при В/Ц 0,65 уже после 10 циклов активации достигает и превышает контрольную. Во всех случаях образцы, твердевшие в нормальных условиях, показали больший прирост прочности, чем при ТВО (рис. 1, а, б). При этом максимальный прирост прочности по сравнению с контролем при ТВО составил 15 %, а после твердения в нормальных условиях — 25 %. Это можно объяснить тем, что при пропаривании неактивированной золы в образцах проявляется частичная деструкция за счет быстрой гидратации пережженной свободной извести, содержащейся в данной золе. Это приводит в конечном результате к некоторому снижению прочности после ТВО по сравнению с твердением при нормальных условиях. При этом в обоих вариантах наблюдается некий оптимум, после которого дальнейшая активация нецелесообразна.

Далее проводились испытания образцов с активированной зольной суспензией и добавлением сухого неактивированного цемента. В отличие от предыдущих экспериментов, где прочность образцов после ТВО была меньше, чем после твердения при нормальных условиях, в данном случае результаты показали обратный эффект (рис. 2, а, б).

Прирост прочности у образцов с $B/C = 0,55$ по сравнению с контролем после ТВО составил 27 %, а при твердении в нормальных условиях всего 12 %.

Таким образом, гидромеханическая обработка цементной суспензии в РПА с последующим добавлением сухой высококальциевой золы наиболее эффективна и увеличивает прочность камня на 40 %. Это можно объяснить совместным действием трех факторов: дополнительного помола, уплотнения камня за счет поздней гидратации свободной извести золы, а также формирования дополнительного количества структурно-активных этtringитоподобных фаз [4].

Активация позволяет уменьшить расход цемента без потери прочности изделий. Учитывая, что при этом можно заменить 40 % цемента золой, данная технология представляет практический интерес.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бердов, Г.И. Активирование цементной суспензии для получения высококачественного бетона [Текст] / Г.И. Бердов, А.Н. Машкин // Изв. вузов. Строительство. — 2007. — № 7. — С. 28–31.
2. Родионов, Р.Б. Инновационные разработки роторно-пульсационной техники для производства строительных материалов [Текст] / Р.Б. Родионов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. Технологии бетонов. — 2006. — № 4. — С. 24–25.
3. Овчаренко, Г.И. Активация цементной и цементно-зольной суспензий в роторно-пульсационном аппарате [Текст] / Г.И. Овчаренко, Е.Ю. Хижинкова, М.С. Лынова, О.В. Свижевская, К.С. Горн, О.Г. Заушицина // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. Технологии бетонов. — 2008. — № 6. — С. 36–37.
4. Хижинкова, Е.Ю. Разработка золопортландцемента из высококальциевых зол ТЭЦ с обеспечением деструктивной безопасности материалов [Текст]: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Барнаул, 2007. — 20 с.

*ОВЧАРЕНКО Г.И., д-р техн. наук
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул*
*ХИЖИНКОВА Е.Ю., канд. техн. наук
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул*
*ГОРН К.С., асп.
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
г. Барнаул*

Получено 25.03.10

Ovcharenko G.I., doctor of technical sciences, Altay Polzunov State Technological University, Barnaul, Russia

Higinkova E.Yu., candidate of technical sciences, Altay Polzunov State Technological University, Barnaul, Russia

Gorn K.S., post-graduate student, Altay Polzunov State Technological University, Barnaul, Russia

THE INFLUENCE OF ACTIVATION CEMENT-ASHES COMPOSITIONS ON STONE STRENGTH

The results research of separately activated cement and high calcium ashes in rotor-pulsation equipment are presented. The expediency activation of cement with the next adding not activated ashes is shown.

Key words: cement, high calcium ashes, activation, rotor-pulsation equipment.

REFERENCES

1. Berdov, G.I. Activation of cement compositions for taking high quality concrete [Text] / G.I. Berdov, A.N. Machkin // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2007. — N 7. — P. 28–31.
2. Rodionov, R.B. Innovative workings out of rotor-pulsation equipment for producing building materials [Text] / R.B. Rodionov // Building materials, equipment and technology of XXI century. Concrete technology. — 2006. — N 4. — P. 24–25.
3. Ovcharenko, G.I. Activation of cement and cement-ashes compositions in rotor-pulsation equipment / G.I. Ovcharenko, E.Yu. Higinkova, M.S. Lunova, O.V. Svirgevskay, K.S. Gorn, O.G. Zauchicina // Building materials, equipment and technology of XXI century. Concrete technology. — 2008. — N 6. — P. 36–37.
4. Higinkova, E.Yu. Working ashesportlandcement from high calcium ashes with maintenance of destructive safety of materials [Text] : The dissert. author's abst. on scienc. degr. comp. of cand. of scienc. — Barnaul, 2007. — 20 p.

УДК 691.322 : 691.4

В.П. СЕЛЯЕВ, Л.И. КУПРИЯШКИНА, Г.Р. НУГАЕВА, П.С. КОЗЛОВ

ИЗМЕНЕНИЕ КИНЕТИКИ ТВЕРДЕНИЯ НАПОЛНЕННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

Рассматривается кинетика структурообразования наполненных цементных систем. Выявлено влияние мелкодисперсного керамического наполнителя на изменение температуры гидратации цементного теста и на физико-механические характеристики растворов. Оптимизирован состав вяжущего с учетом используемого наполнителя.

Ключевые слова: наполнитель, температура, гидратация, новообразование, перекристаллизация.

Изучение тепловыделения цементных композитов разного минерального состава имеет большое значение [1] из-за практической ценности термохимических исследований.

На температуру тепловыделения влияют и тонкость помола, и водокементное отношение, и минеральный состав. Скорости тепловыделения цементов впервые были детально исследованы У. Лерчем и позже учеными Р. Карлсоном, Л. Форбричем, Р. Девисом, У. Лерчем и Р. Бoggом.

Во время затворения портландцемента водой происходит процесс гидратации, который сопровождается выделением тепла. Полученное цементное тесто со временем теряет свою пластичность, затвердевает и получается прочный цементный камень.

О происходящих процессах структурообразования цементного камня можно судить не только по кривым изменения пластической прочности раствора [2], но и по кривым тепловыделения, которое является одной из важных характеристик вяжущего, характеризует процессы гидратации и дает представление о процессах структурообразования цементного камня [3].

Для исследования кинетики температуры твердения композитов использовался прибор, дающий возможность измерять температуру цементного теста систематически через каждые полчаса в течение суток.

Экспериментальные исследования проводились на чистом и на наполненном цементном teste. Использовался цемент М400 бездобавочный Алексеевского цементного завода республики Мордовия; В/Ц = 0,4; в качестве наполнителя был введен молотый кирпич в количестве 20 % от массы цемента.

По полученным результатам была построена графическая зависимость влияния наполнителя на изменение температуры цементного теста (рис. 1).

Анализ графиков (рис. 1) показывает, что кинетика изменения температуры не зависит от наполнителя и здесь можно выделить четыре характерных периода.

Первый, начальный, период гидратации характеризуется небольшим тепловыделением, которое начинается сразу после затворения вяжущего водой. Наполненное цементное тесто имеет температуру немного выше, чем ненаполненное. Этот период очень короткий. Он связан с растворени-

ем минеральных вяжущих веществ. Составляющие в растворе диссоциируют на ионы, которые обеспечивают получение термодинамически неустойчивых, т.е. метастабильных, фаз, обусловливающих многие свойства вяжущих.

Время, ч	Температура, °С (1)	Температура, °С (2)
0	27	27
2	28	28
4	32	30
6	42	38
7	48	45
14	-	48
16	-	42

Третий период гидратации цементного теста характеризуется резким ростом внутренней энергии и температуры до максимального значения. Максимальная температура чистого цементного теста составляет 90,5 °С через 9 ч. Введение наполнителей приводит к снижению максимума и сдвигу вправо, что свидетельствует о замедлении процессов гидратации и структурообразования. Использование в качестве наполнителя молотого кирпича уменьшает максимальное тепловыделение до 74,4 °С, сдвигая пик вправо на 1 ч. В третьем периоде по мере растворения количества вяжущего вещества систематически убывает, превращаясь благодаря кристаллизации через раствор в гидратные новообразования высокой дисперсности. В этот период происходит дальнейшее накапливание гелеобразных продуктов гидратации и начинается их перекристаллизация в кристаллические новообразования. Процессы кристаллизации слагаются из последовательно протекающих элементарных актов возникновения зародышей новой фазы и их роста. В разных частях объема возникают мельчайшие упорядоченные образования, способные к самостоятельному существованию и росту, так называемые зародыши кристаллизации. Именно на этом этапе и наблюдается максимальный пик внутренней энергии процессов гидратации.

Четвертый период характеризуется снижением тепловыделения, потерей пластичности и образованием твердого цементного камня, т.е. перекристаллизацией новообразований из мелких в более крупные и сращиванием кристаллов между собой. Температурные кривые после достижения максимума плавно опускаются.

На процессы структурообразования цементных композитов влияет не только вид наполнителя, но и его крупность X_2 , и степень наполнения X_1 . С использованием двухфакторного плана эксперимента (метод Коно) рассматривались составы, где варьировались: степень наполнения кирпичной крошкой в количестве от 10 до 30 % от массы цемента; крупность

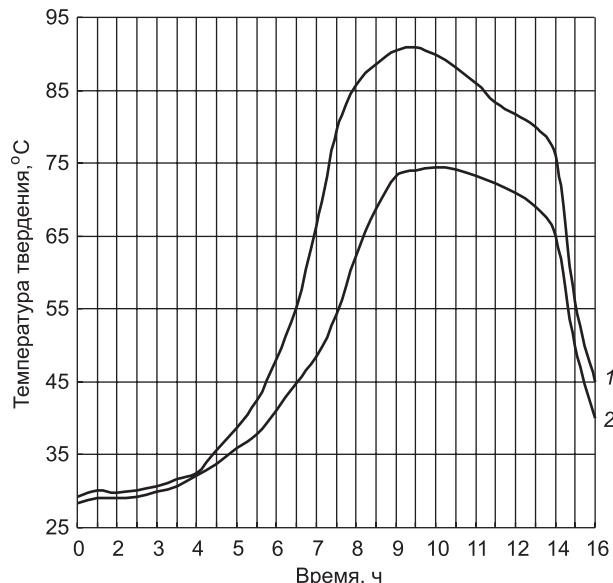


Рис. 1. Кинетика изменения температуры твердения композитов

1 — без наполнителя; 2 — наполнитель — тонкомолотый кирпич (20 %)

фракций от 0,315 до 1,25 мм. Используя матрицу планирования, были получены полиномиальные уравнения плотности P_{cp} , прочности $R_{\text{сж}}$ и изменения температуры T :

$$P_{\text{cp}} = 1,91 - 0,09X_1^2 - 0,05X_2^2 - 0,04X_1 - 0,017X_2 - 0,02X_1X_2; \quad (1)$$

$$R_{\text{сж}} = 31,59 - 2,23X_1^2 - 0,73X_2^2 - 2,04X_1 - 6,07X_2 - 1,1X_1X_2; \quad (2)$$

$$T = 70,39 + 2,39X_1^2 - 1,05X_2^2 - 7,71X_1 - 2,78X_2 + 0,57X_1X_2. \quad (3)$$

Согласно этим уравнениям построены графические зависимости влияния степени и крупности наполнителя на температуру твердения, прочность и плотность композитов (рис. 2–4).

Анализ экспериментальных данных показал, что при увеличении степени наполнения тепловыделение снижается с 84 до 65 °C. При минимальной степени наполнения с увеличением крупности фракций также заметно снижение тепловыделения до 72 °C, при максимальной степени наполнения — до 62 °C (см. рис. 2).

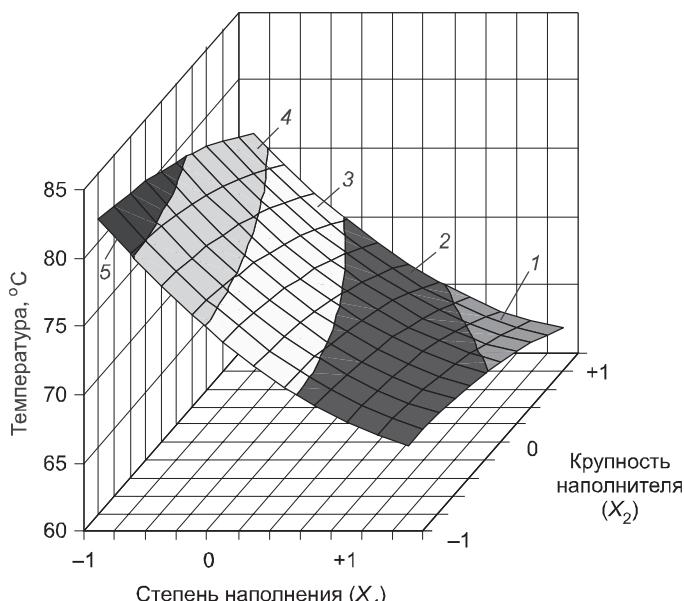


Рис. 2. Влияние степени наполнения X_1 и крупности наполнителя X_2 (тонкомолотый кирпич) на кинетику изменения температуры T цементного теста

1 — 60...65; 2 — 65...70; 3 — 70...75; 4 — 75...80; 5 — 80...85

Количество и качество наполнителя влияют на процессы гидратации, что подтверждается графической зависимостью. Это сказывается на физико-механических характеристиках полученных материалов (см. рис. 3, 4). Анализ плотности и прочности показал, что при 10...12 % наполнения и средней крупности (0,315 мм) температура составляет 81 °C, при этом плотность в этой точке 1800 кг/м³, а прочность 38 МПа. При увеличении степени наполнения до 18...20 % и той же крупности прочность образцов достигает 37 МПа, что соответствует наибольшему показателю плотности — 1900 кг/м³, температура твердения при этом 65...70 °C.

Выводы. Температура гидратации зависит от вида, дисперсности и количества наполнителя в смеси.

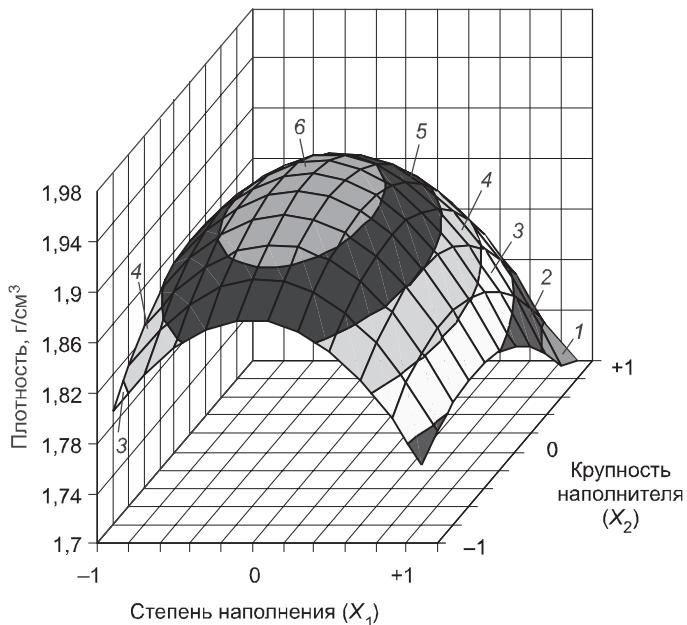


Рис. 3. Влияние степени наполнения X_1 и крупности наполнителя X_2 (тонкомолотый кирпич) на плотность $P_{\text{ср}}$ цементного теста
 1 — 1,7...1,74; 2 — 1,74...1,78; 3 — 1,78...1,82; 4 — 1,82...1,86; 5 — 1,86...1,9; 6 — 1,9...1,94; 7 — 1,94...1,98

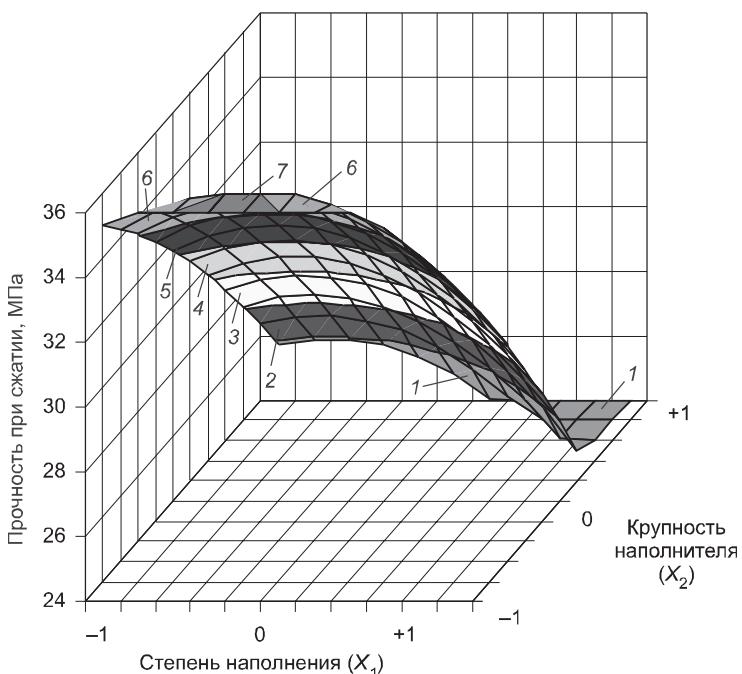


Рис. 4. Влияние степени наполнения X_1 и крупности наполнителя X_2 (тонкомолотый кирпич) на прочность $R_{\text{сж}}$ цементного теста
 1 — 24...26; 2 — 26...28; 3 — 28...30; 4 — 30...32; 5 — 32...34; 6 — 34...36

Варьируя соотношения цемента и наполнителя, можно оптимизировать режим формирования структуры цементного камня.

Применение тонкодисперсного керамического наполнителя позволяет снизить расход цемента на 25 % и повысить прочность и плотность цементных растворов.

Такое вяжущее можно использовать для кладочных растворов и наружной отделки стен.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ратинов, В.Б. Химия в строительстве [Текст] / В.Б. Ратинов, Ф.М. Иванов. — М. : Стройиздат, 1981. — 216 с.
2. Селяев, В.П. Пластическая прочность наполненных цементных систем [Текст] / В.П. Селяев, Л.И. Куприяшкина, Г.Р. Нураева // Изв. вузов. Строительство. — 2009. — № 7. — С. 11–15.
3. Батраков, В.Г. Структурообразование цементного теста в присутствии кремний-органических добавок полигидросилоксанового типа [Текст] / В.Г. Батраков, З.М. Ларionова, Е.С. Силина // Защита строительных конструкций от коррозии. — М. : Стройиздат, 1980. — С. 3–11.

СЕЛЯЕВ В.П., д-р техн. наук, проф.

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск
КУПРИЯШКИНА Л.И., канд. техн. наук, проф.*

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск
НУГАЕВА Г.Р., асп.*

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск
КОЗЛОВ П.С., асп.*

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, г. Саранск

Получено после доработки 22.04.10

Selyayev V.P., doctor of technical sciences, professor, Ogarev Mordovian State University, Saransk, Russia

Kupriyashkina L.I., candidate of technical sciences, professor, Ogarev Mordovian State University, Saransk, Russia

Nugayeva G.R., post-graduate student, Ogarev Mordovian State University, Saransk, Russia

Kozlov P.S., post-graduate student, Ogarev Mordovian State University, Saransk, Russia

MATURING KINETICS CHANGE OF MAKE-UP FILLED CEMENT SYSTEMS

Structure formation kinetics of make-up filled cement systems is considered in article. There is disclosed influence of fine-dispersed brick filler on the change of temperature hydration cement paste and on physical and mechanical characteristics of mortars. There is optimized composition of bonding material with taking into account using filler.

Key words: filler, temperature, hydration, new formation, recrystallization.

REFERENCES

1. Ratinov, V.B. Building Chemistry [Text] / V.B. Ratinov, F.M. Ivanov. — M. : Stroyizdat, 1981. — 216 p.
2. Selyayev, V.P. Plaster strength of make-up filled cement systems [Text] / V.P. Selyayev, L.I. Kupriyashkina, G.R. Nugayeva // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2009. — N 7. — P. 11–15.
3. Batrakov, V.G. Structure formation of cement paste contained by siliceous additives of polyhydrosiloxane type [Text] / V.G. Batrakov, Z.M. Larionova, E.S. Silina // Protection building constructions from corrosion. — M. : Stroyizdat, 1980. — P. 3–11.

УДК 691.542.004.4

Л.В. ИЛЬИНА, Г.И. БЕРДОВ, А.В. МЕЛЬНИКОВ

**ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ
И УСЛОВИЙ ХРАНЕНИЯ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА
НА ЕГО СВОЙСТВА**

Установлено, что в случае длительного хранения (12 месяцев) во влажной среде происходит изменение свойств портландцемента, при этом значительно (на 70 %) снижается прочность образцов при сжатии. В случае аналогичного хранения клинкера прочность образцов снижается значительно меньше — менее 30 %.

Ключевые слова: портландцемент, клинкер, длительное хранение, механическая прочность, нормальная густота, сроки схватывания.

Свойства вяжущих веществ, в том числе портландцемента, как правило, исследуют непосредственно или через непродолжительное время после их изготовления. Подробно изучены структура и свойства цемента, механизм и кинетика гидратации клинкерных минералов, коррозия цементного камня и бетона [1–3]. Изменение свойств портландцемента при длительном хранении практически не рассматривается, так как в основном использование его осуществляется вскоре после изготовления. Вместе с тем нередки случаи продолжительного хранения таких материалов, что неизбежно приводит к изменению их свойств в результате взаимодействия с окружающей средой. Особенно актуальны эти вопросы для отдаленных районов Сибири, Севера, Дальнего Востока, где нет поблизости цементных заводов и цемент поставляется преимущественно речным транспортом в период краткосрочной навигации. При этом возможно хранение как готового портландцемента, так и клинкера с его последующим измельчением.

В данной работе исследовано изменение свойств портландцемента в процессе его длительного хранения во влажной среде (до 12 мес), так называемого «лежалого» цемента.

Исследован портландцемент ООО «Искитимцемент» (Новосибирская область) марки ПЦ 400Д-20. Минеральный состав цемента, мас. %: $C_3S = 50\ldots 55$, $C_2S = 18\ldots 22$, $C_3A = 7\ldots 11$, $C_4AF = 12\ldots 15$. Удельная поверхность $320 \text{ м}^2/\text{кг}$. Химический состав цемента, мас. %: $SiO_2 = 20,73$; $Al_2O_3 = 6,86$; $Fe_2O_3 = 4,63$; $CaO = 65,46$; $MgO = 1,3$; $SO_3 = 0,41$; П.п.п. — 0,5. Кроме того, исследован также клинкер того же состава. Клинкер хранили в виде гранул диаметром 10…20 мм. Для изготовления образцов клинкер измельчали в шаровой мельнице до удельной поверхности $320 \text{ м}^2/\text{кг}$. В ряде экспериментов клинкер после хранения измельчали совместно с гипсом (5 мас. %). Определены свойства цемента и клинкера после хранения в течение 7 сут при нормальных условиях (температура $20 \pm 2^\circ\text{C}$, влажность — не более 60 %), после хранения в течение 4 и 12 мес в среде с влажностью более 80 % при температуре $20 \pm 2^\circ\text{C}$ и после четырех месяцев хранения в такой же среде и дополнительного искусственного «состаривания» (влажность — более 90 %, температура 70–80 °C) в течение 48 ч.

Определение свойств цемента проведено по общепринятым методикам. Водовяжущее отношение, соответствующее нормальной густоте цементного теста, несколько возрастает по мере увеличения сроков хранения (табл. 1). Наиболее значительное увеличение отмечено в случае дополнительного искусственного «состаривания» как портландцемента, так и клинкера.

Таблица 1
Значения водовяжущего отношения при различных условиях и продолжительности хранения вяжущего

Вид вяжущего	Условия и продолжительность хранения			
	Нормальные условия, 7 сут	Влажные условия, 4 мес	Влажные условия, 12 мес	Влажные условия и искусственное «состаривание», 4 мес
Цемент	0,256	0,270	0,290	0,350
Клинкер молотый без гипса	0,210	0,250	0,300	0,313
Клинкер молотый с гипсом	0,220	0,250	0,300	0,320

Сроки начала и конца схватывания цемента увеличиваются со временем его хранения (табл. 2). Наиболее существенно это увеличение в случае дополнительного искусственного «состаривания». У клинкера, измельченного без гипса, сроки начала и конца схватывания малы и далее уменьшаются со временем хранения. При измельчении клинкера с добавлением гипса сроки схватывания увеличиваются, но остаются меньшими, чем у портландцемента с такими же сроками хранения.

Таблица 2
Сроки схватывания вяжущих при различных условиях и продолжительности их хранения

Вид вяжущего	Условия и продолжительность хранения							
	Нормальные условия, 7 сут		Влажные условия, 4 мес		Влажные условия, 12 мес		Влажные условия и искусственное «состаривание», 4 мес	
	Периоды схватывания							
	начало	конец	начало	конец	начало	конец	начало	конец
Цемент	2 ч 39 мин	5 ч 03 мин	3 ч 20 мин	6 ч 15 мин	3 ч 40 мин	8 ч 20 мин	4 ч 09 мин	9 ч 50 мин
Клинкер молотый без гипса	27 мин 30 с	1 ч 03 мин	25 мин	58 мин	13 мин 30 с	45 мин	5 мин	11 мин
Клинкер молотый с гипсом	2 ч 55 мин	5 ч 24 мин	2 ч 40 мин	4 ч 50 мин	2 ч 23 мин	4 ч 28 мин	18 мин	32 мин

Прочность при сжатии определена при испытании образцов размерами $20 \times 20 \times 20$ мм, приготовленных из теста нормальной густоты. Испытания проведены после тепловлажностной обработки образцов по режиму: 3 ч — подъем температуры до 90°C , 8 ч — изотермическая выдержка при данной температуре и 3 ч — снижение температуры до 20°C . Образцы подверглись испытаниям также после 3, 7, 14 и 28 сут твердения при нормальных условиях (табл. 3, 4).

Для образцов, изготовленных из молотого клинкера, снижение прочности при сжатии после 12 мес хранения во влажных условиях составило после тепловлажностной обработки 25 %, после 28 сут твердения при нормальных условиях — 28 %. Значительно более резкое снижение прочности отмечено после дополнительного искусственного «состаривания» клинкера — соответственно 47 и 39 %.

Таблица 3

Влияние условий и продолжительности хранения клинкера на прочность при сжатии цементного камня, МПа

Условия и продолжительность твердения образцов	Условия и продолжительность хранения клинкера			
	Нормальные условия, 7 сут	Влажные условия, 4 мес	Влажные условия, 12 мес	Влажные условия и искусственное «состаривание», 4 мес
Тепловлажностная обработка	58,12	55,21	43,59	34,29
Нормальные условия, 3 сут	10,03	9,55	8,04	6,98
Нормальные условия, 7 сут	18,27	17,10	15,50	12,70
Нормальные условия, 14 сут	33,60	32,20	26,81	21,30
Нормальные условия, 28 сут	63,20	61,32	48,41	38,50

Образцы, изготовленные из портландцемента, показали существенно большее снижение прочности. В случае хранения цемента в течение 12 мес после тепловлажностной обработки оно составило 61 %, после 28 сут твердения в нормальных условиях — 63 % (табл. 4). Искусственное «состаривание» портландцемента привело к значительному снижению прочности образцов. Она уменьшилась соответственно на 82 и 70 %.

Таблица 4

Влияние условий и продолжительности хранения цемента на прочность при сжатии цементного камня, МПа

Условия и продолжительность твердения образцов	Условия и продолжительность хранения цемента			
	Нормальные условия, 7 сут	Влажные условия, 4 мес	Влажные условия, 12 мес	Влажные условия и искусственное «состаривание», 4 мес
Тепловлажностная обработка	54,56	37,10	21,28	9,81
Нормальные условия, 3 сут	10,08	8,20	4,10	2,91
Нормальные условия, 7 сут	17,67	13,12	7,50	5,60
Нормальные условия, 14 сут	32,95	22,86	12,80	11,26
Нормальные условия, 28 сут	61,90	42,50	22,60	18,40

Аналогичные результаты получены при испытании образцов размерами 40×40×160 мм, изготовленных из цементно-песчаного раствора, при соотношении цемента и песка, равном 1:3 (табл. 5, 6).

Образцы, изготовленные с использованием портландцемента, во всех случаях при всех условиях и длительности хранения показали значительно большее снижение прочности, чем образцы, изготовленные из клинкера. Так, после 12 мес хранения во влажных условиях снижение прочности при сжатии после 28 сут твердения в нормальных условиях у образцов из клинкера составило 26 %, а у образцов из цемента — 68 %, после тепловлажностной обработки снижение прочности составило соответственно 43 и 65 %.

Такое изменение прочности у образцов из цемента при длительном хранении (по сравнению с клинкером) может быть обусловлено его дисперсностью, а также тем, что в составе цемента содержится гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. При длительном хранении возможны его взаимодействие с клинкерными минералами и гидратация последних за счет воды, входящей в состав гипса. В образцах из клинкера гидратация клинкерных минералов может осуществляться только за счет влаги из окружающей среды.

Таблица 5

Прочность образцов цементно-песчаного раствора с размерами 40×40×160 мм, изготовленных с использованием клинкера, хранившегося в различных условиях, МПа

Условия и продолжительность твердения образцов	Условия и продолжительность хранения клинкера							
	Нормальные условия, 7 сут		Влажные условия, 4 мес		Влажные условия, 12 мес		Влажные условия и искусственно «состаривание», 4 мес	
	$R_{изг}$	$R_{сж}$	$R_{изг}$	$R_{сж}$	$R_{изг}$	$R_{сж}$	$R_{изг}$	$R_{сж}$
Тепловлажностная обработка	5,31	32,58	5,00	29,95	3,81	23,38	3,30	18,7
Нормальные условия, 3 сут	1,52	7,40	1,40	6,80	0,81	6,02	0,60	4,01
Нормальные условия, 7 сут	2,90	14,60	2,30	13,50	1,40	10,50	1,18	7,40
Нормальные условия, 14 сут	4,60	23,90	3,90	23,10	2,60	18,91	2,10	12,50
Нормальные условия, 28 сут	6,83	43,50	6,38	40,17	4,90	32,09	4,01	22,90

Таблица 6

Прочность образцов из цементно-песчаного раствора с размерами 40×40×160 мм, изготовленных с использованием цемента, хранившегося в различных условиях, МПа

Условия и продолжительность твердения образцов	Условия и продолжительность хранения цемента							
	Нормальные условия, 7 сут		Влажные условия, 4 мес		Влажные условия, 12 мес		Влажные условия и искусственно «состаривание», 4 мес	
	$R_{изг}$	$R_{сж}$	$R_{изг}$	$R_{сж}$	$R_{изг}$	$R_{сж}$	$R_{изг}$	$R_{сж}$
Тепловлажностная обработка	4,23	23,43	3,08	16,40	2,82	10,54	2,17	8,19
Нормальные условия, 3 сут	1,63	8,10	0,98	4,02	0,73	2,48	0,43	2,10
Нормальные условия, 7 сут	2,54	12,22	1,45	7,50	1,26	4,40	0,97	3,78
Нормальные условия, 14 сут	4,28	20,05	2,09	11,15	1,92	6,90	1,73	6,36
Нормальные условия, 28 сут	6,36	36,94	3,74	18,10	3,05	11,93	3,06	11,92

Таким образом, при длительном хранении (12 мес) во влажной среде происходит изменение свойств портландцемента: увеличение сроков начала и конца схватывания, водотвердого отношения, соответствующего нормальной густоте, значительное уменьшение прочности при изгибе и сжатии. В образцах, полученных из молотого клинкера (без введения гипса), хранившегося 12 мес во влажных условиях, отмечено значительное снижение прочности при сжатии и изгибе. Так, после 12 мес хранения во влажной среде прочность образцов, изготовленных из клинкера после его измельчения, снижается относительно исходных значений: после 28 сут твердения при нормальных условиях на 25 %, после тепловлажностной обработки на 43 %. В этом случае необходима дополнительная механическая или химическая активация вяжущего. Эти особенности изменения свойств цемента и клинкера целесообразно учитывать при необходимости вынужденного длительного хранения клинкерных вяжущих веществ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Горчаков, Г.И. Строительные материалы [Текст] / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов. — М. : Стройиздат, 1986. — 688 с.
- Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества [Текст] / А.В. Волженский, Ю.М. Бутт, В.С. Колокольников. — М. : Стройиздат, 1979. — 476 с.

3. Кузнецова, Т.В. Физическая химия вяжущих материалов [Текст] / Т.В. Кузнецова, И.В. Кудряшов, В.В. Тимашев. — М. : Высш. шк., 1989. — 384 с.

ИЛЬИНА Л.В., канд. техн. наук, доц.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

БЕРДОВ Г.И., д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

МЕЛЬНИКОВ А.В., студ.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено после доработки 13.04.10

Ilina L.V., candidate of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Berdov G.I., doctor of technical sciences, professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Melnikov A.V., student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

EFFECT OF THE DURATION OF STORAGE AND PORTL AND ON ITS PROPERTIES

It is established that in case of extended storage (12 month) in humid condition changing properties of portland cement takes place. In this situation models hardness by compression decreases considerably (70 %). In the same clinker's storage the hardness models decrease less (less than 30 %).

Key words: portland cement, clinker, extended storage, mechanical hardness, normal consistency, hardening times.

REFERENCES

1. Gorchakov, G.I. Building materials [Text] / G.I. Gorchakov, Yu.M. Bazhenov. — M. : Stroyizdat, 1986. — 688 p.
2. Volzhensky, A.V. Mineral cementing agent [Text] / A.V. Volzhensky, Yu.M. Butt, V.S. Kolokolnikov. — M. : Stroyizdat, 1979. — 476 p.
3. Kuznetsova, T.V. Physical chemistry binders [Text] / T.V. Kuznetsova, I.V. Kudryashov, V.V. Timashev. — M. : Higher school, 1989. — 384 p.

УДК 691.327:666.973.6:536.21

**И.Н. КУЗНЕЦОВА, О.А. КУЗНЕЦОВ, А.Ф. КОСАЧ,
М.А. РАЩУПКИНА, Н.А. ГУТАРЕВА**

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА И ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ МЕЖПОРОВЫХ ПЕРЕГОРОДОК НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ПЕНОБЕТОНА

Предложена формула для определения эффективной теплопроводности пенобетона в зависимости от минерального состава вяжущего и пористости.

Ключевые слова: пенобетон, теплопроводность.

Пенобетон является многофункциональным строительным материалом, который отвечает современным требованиям по физико-техническим характеристикам, в частности имеет низкую теплопроводность.

Структура пенобетона представляет собой сплошную среду цементного камня с порами различных размеров в виде отдельных условно замкнутых ячеек. Изменяя минеральный состав вяжущего, можно получать различные типы микроструктуры цементного камня [1]. Основной составляющей цементного камня являются гидросиликаты кальция. Они создают определенную пространственную структуру, которая включает непрореагировавшую часть зерен цемента с оболочкой новообразований в виде системы глобул и межзерновое пространство, заполненное в той или иной мере новообразованиями [2, 3].

В пенобетоне теплопроводность определяется посредством переноса тепла по цементному камню и объему пор. На теплопроводность пенобетона оказывают влияние размер пор, их количество в образце, распределение по структуре и т.д.

В цементном камне, формирующем межпоровые перегородки, осуществляется теплопроводность, вызванная в основном упругими тепловыми колебаниями групп атомов в структурной решетке материала. Электропроводимость в цементном камне мала, т.е. свободных электронов, которые могли бы двигаться через кристаллическую решетку и осуществлять перенос энергии, недостаточно, основное влияние на теплопроводность цементного камня оказывают тепловые колебания атомов (решетки) [2, 3].

Установлено, что при использовании цемента с большим содержанием кальция, марганца, железа теплопроводность пенобетона меньше ($\lambda = 0,10 \text{ Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$), чем у пенобетона на обычном цементе марки ПЦ 500-Д0 ($\lambda = 0,115 \text{ Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$), при одинаковой средней плотности 400 кг/м³. Введение примесных компонентов, например MgO и SiO₂, в цемент приводит к усложнению строения кристаллической решетки и образованию дополнительных центров рассеяния. В результате совместного влияния этих факторов теплопроводность цементного камня понижается.

Теплопроводность пенобетона при отсутствии фильтрации воздуха является однородной и изотропной величиной, которая зависит от порис-

тости материала. Значение коэффициента теплопроводности пенобетона $\lambda_{\text{пен}}$ находится между теплопроводностью воздуха $\lambda_{\text{в}}$ и межпоровых перегородок, сформированных из цементного камня $\lambda_{\text{ц.к.}}$:

$$\lambda_{\text{в}} \leq \lambda_{\text{пен}} < \lambda_{\text{ц.к.}}$$

Изменение теплопроводности пенобетона в зависимости от его минерального состава возможно за счет оптимизации структуры материала. Учитывая сложность регулирования теплопроводности пенобетона, авторы предложили формулу расчета теплопроводности в зависимости от пористости и минерального состава межпоровых перегородок. Сопоставлены расчетные и экспериментальные результаты исследования теплопроводности, где образцы пенобетона сформированы из портландцемента трех марок: ПЦ 500-ДО-Н, ПЦ 400-Д20, ПЦА, которые показали наилучшие результаты [4].

Предложенная формула учитывает закон Фурье, зависимость теплопроводности цементного камня от содержания основных минералов в портландцементе $\lambda_{\text{ц.к.}}^{\text{M}}$ [4], известное значение кондуктивной теплопроводности неподвижного воздуха в закрытых порах при температуре 20 °C — $\lambda_{\text{в}} = 0,024 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$, приведенную степень черноты пенобетона $\varepsilon = 0,91$, коэффициент излучения пенобетона $C_0 = 5,77 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, температурный коэффициент $\theta = 1$ при 20 °C, формулы теплопроводности крупнопористого керамзитобетона, объем и средний диаметр пор.

Формула для расчета коэффициента теплопроводности пенобетона имеет вид

$$\lambda_{\text{пен}} = [(0,427 + (0,15C_3S - 0,12C_2S - 0,45C_3A - 0,38C_4AF)^{-2})(1 - V_{\text{в}}) + (\lambda_{\text{в}} + \varepsilon C_0 \theta d)V_{\text{в}}] [\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})],$$

где $V_{\text{в}}$ — объем пор, содержащихся в пенобетоне и проводящих тепловой поток, доли единиц;

d — средний диаметр пор в структуре пенобетона, м; приведено содержание основных минералов цемента, %.

Эта формула справедлива только для пенобетона на цементном вяжущем. Достоверность предложенной формулы обоснована сходимостью расчетных значений, полученных по данной формуле, и эксперименталь-

Физико-механические и технические показатели пенобетона

Показатель	Пенобетон		
	№ 1	№ 2	№ 3
	Марка портландцемента		
	ПЦ 500-ДО-Н	ПЦ 400-Д20	ПЦА
Марка по средней плотности	D500	D400	D400
Предел прочности при сжатии, МПа	0,9...1,2	0,9...1,2	0,9...1,3
Объемная усадка, %	8,9	9,5	6,4
Линейная усадка, мм/м	1,7...1,8	1,8...2,0	1,6...1,7
Коэффициент размягчения	0,8	0,8	0,77
Средняя теплопроводность $\lambda_{\text{пен}}$, Вт/(м · °C)	0,119	0,114	0,108
Паропроницаемость, кг/(м·ч·Па)	0,18	0,17	0,17
Сорбционная влажность, %, не более (при относительной влажности 75 %)	7...9	7...9	7...8
Общая пористость, %	68...72	73...75	59...74

ных значений теплопроводности пенобетона, определенных методом стационарного теплового потока на приборе ИТП-МГ4 согласно ГОСТ 7076-99. Физико-механические показатели исследуемого пенобетона представлены в таблице и соответствуют требованиям ГОСТов.

Так, рассчитанный коэффициент теплопроводности пенобетона по приведенной формуле составляет $\lambda_{\text{пен}} = 0,106 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, определенное по методу стационарного теплового потока среднее значение теплопроводности 18 образцов — $\lambda^3_{\text{пен}} = 0,103 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ при среднем объеме пор $V_b = 0,608$ и $d = 0,045 \text{ мм}$. Расхождение между значениями коэффициентов теплопроводности пенобетона, полученными экспериментальным и расчетным путем, не более 8 %.

Предложенная формула учитывает содержание пор по объему и среднему диаметру в пенобетоне и разное содержание минералов вяжущего, что позволяет изначально определять теплопроводность изделия. Повысить теплофизические свойства пенобетона можно за счет оптимизации минерального состава межпоровых перегородок.

Результаты экспериментальных и расчетных исследований порообразующих перегородок, сформированных из цементного камня, позволяют оценить влияние основных минералов цемента на теплопроводность пенобетона. Достоверность полученных результатов подтверждается соглашением экспериментальных и расчетных данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ращупкина, М.А. Зола гидроудаления в производстве бетона [Текст] / М.А. Ращупкина, А.Ф. Косач, И.Н. Кузнецова // Изв. вузов. Строительство. — 2009. — № 7. — С. 16–20.
2. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий [Текст] / К.Ф. Фокин. — 5-е изд., перераб. ; под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. — М. : АВОК-ПРЕСС, 2006. — 256 с.
3. Шмитько, Е.И. Химия цемента и вяжущих веществ [Текст] / Е.И. Шмитько, А.В. Крылова, В.В. Шаталова. — СПб, 2006. — 206 с.
4. Косач, А.Ф. Влияние минерального состава цемента на теплопроводность цементного камня [Текст] / А.Ф. Косач, И.Н. Кузнецова, М.А. Ращупкина // Изв. вузов. Строительство. — 2009. — № 8. — С. 26–31.

КУЗНЕЦОВА И.Н., канд. техн. наук, доц.; E-mail: INKuznecova@mail.ru
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск
КУЗНЕЦОВ О.А., асп.

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск
КОСАЧ А.Ф., д-р техн. наук, проф.

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск
РАЩУПКИНА М.А., канд. техн. наук, доц.

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск
ГУТАРЕВА Н.А., асп.

Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск

Получено после доработки 20.04.10

Kuznetsova I.N., candidate of technical sciences; E-mail: INKuznecova@mail.ru, Siberian Automobile and Highway Academy, Omsk, Russia

Kuznetsov O.A., post-graduate student, Ugra State University, Russia

Kosach A.F., doctor of technical sciences, professor, Siberian Automobile and Highway Academy, Omsk, Russia

Raschupkina M.A., candidate of technical sciences, Siberian Automobile and Highway Academy, Omsk, Russia

Gutareva N.A., post-graduate student, Ugra State University, Russia

INFLUENCE OF MINERAL STRUCTURE AND POROUS STRUCTURES BETWEENPOROUS PARTITIONS ON THERMAL CONDUCTIVITY CELLULAR CONCRETE

The formula for definition effective thermal conductivity cellular concrete depending on mineral structure knitting and is offered to porosity.

Key words: cellular concrete, thermal conductivity.

REFERENCES

1. Raschupkina, M.A. Hydro-extracting cinder in concrete production [Text] / M.A. Raschupkina, A.F. Kosach, I.N. Kuznetsova // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2009. — N 7. — P. 16–20.
 2. Fokin, K.F. Building heat engineering of protecting parts of buildings [Text] / K.F. Fokin. — Under edition — 5-editions reconsidered. — M. : ABOK, 2006. — 256 p.
 3. Shmitko, E.I. Chemistry of cement and knitting substances [Text] / E.I. Shmitko, A.V. Krilova, V.V. Shatalova. — SPb, 2006. — 206 p.
 4. Kosach, A.F. Influence of minerals cement on thermal conductivity concrete [Text] / A.F. Kosach, I.N. Kuznetsova, M.A. Raschupkina // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2009. — N 8. — P. 26–31.
-

УДК 691.327:666.973.2:666.64-492.3

В.А. КУЛИКОВ, В.З. АБДРАХИМОВ, И.В. КОВКОВ

ВЛИЯНИЕ ТВЕРДОГО НЕФТЕСОДЕРЖАЩЕГО ОТХОДА СЕПАРАЦИИ НЕФТЕШЛАМА НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМЗИТА

Исследования показали, что твердые нефтесодержащие отходы сепарации нефтешлама способствуют образованию муллита и анортита при температуре обжига керамзита 1100 °С. Полученный эффективный керамзит имеет невысокую насыпную плотность 395...650 кг/м³.

Ключевые слова: гематит, кварц, керамзит, коэффициент конструктивного качества, кристобалит, ликвация, монтмориллонитовая глина, муллит, нефтяной кек, стеклофаза, фазовый состав, электронный микроскоп.

Вспучивание глин при быстром обжиге для получения керамзита и улучшение его физико-механических свойств при различных режимах охлаждения — важнейшие характеристики керамзитового гравия.

В настоящее время можно считать установленным, что источниками газовыделения в глинах являются реакции разложения и восстановления оксидов железа при их взаимодействии с органическими примесями или добавками в глине, а также химически связанная вода глинистых минералов. Схема восстановительных реакций может быть представлена следующими уравнениями [1]:



Влияние этих реакций на вспучивание подкрепляется тем, что глины, которые в природном состоянии содержат значительное количество железистых и органических примесей, хорошо вспучиваются. Добавка в глину железистых примесей (например, пиритных огарков), а также органических веществ (угля, солярного масла, мазута) увеличивают способность глины вспучиваться.

Нами получен легкий пористый заполнитель на основе легкоплавкой монтмориллонитовой глины и твердого нефтесодержащего продукта сепарации нефтешлама (нефтяного кека) и исследовано его влияние на фазовый состав и физико-механические свойства керамзита.

Для получения керамзита был исследован кек, представляющий собой мелкодисперсный порошок темно-коричневого цвета, образующийся на нефедобывающем предприятии г. Нефтегорска Самарской области.

Основные физико-механические характеристики кека представлены в табл. 1, а химический состав — в табл. 2.

Кек использовался для снижения температуры обжига заполнителя и в качестве выгорающей и вспучивающей добавки. В табл. 3 приведен поллементный химический анализ твердого нефтесодержащего отхода сепарации нефтешлама, проведенный с помощью электронного растрового сканирующего микроскопа Philips 525M.

Минералогический и фазовый составы соответственно нефтяного кека и керамзита исследовалась на дифрактометре ДРОН-6 с использованием CoK_{α} -излучения при скорости вращения столика с образцом 1 град./мин.

© Куликов В.А., Абдрахимов В.З., Ковков И.В., 2010

Таблица 1
Физико-механические характеристики
нефтяного кека

Показатель	Единица измерения	Количество
Влажность	мас. %	10,0...25,0
Содержание механических примесей	мас. %	59,0...72,0
Содержание нефти	мас. %	9,0...19,0
Средняя плотность	г / см ³	0,75...0,88
Насыпная плотность	кг / м ³	550
Истинная плотность	кг / м ³	1300
Удельная поверхность	см ² / г	4900

На рис. 1 представлена рентгенограмма исследуемого нефтяного кека, где отмечаются характерные интенсивные линии ($d / n = 0,185; 0,228; 0,249; 0,367; 0,373; 0,383$ нм) карбоната кальция CaCO_3 , присутствие линий ($d / n = 0,280; 0,334; 0,425$ нм) обусловлено карбонатом магния MgCO_3 , линий ($d / n = 0,209; 0,245; 0,313$ нм) — кварцем SiO_2 , ($d / n = 0,191; 0,302$ нм) — доломитом $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$.

В качестве глинистого сырья при производстве керамзита использовалась легкоплавкая монтмориллонитовая глина Смышляевского месторождения, которая достаточно изучена. Поэлементный химический состав смышляевской глины представлен в табл. 3, оксидный химический и минералогический составы — в табл. 4 и 5.

Производство керамзита осуществлялось по следующей технологии: глина Смышляевского месторождения и нефтяной кек подсушивались, измельчались на лабораторных «бегунах», просеивались через сито с отвер-

Таблица 2
Компонентный состав нефтяной
части кека

Наименование веществ	Содержание, мас. %
Смолы	5,3
Асфальтены	5,3
Парафины	9,0
Тяжелые масла	80,4
Вещества, растворимые в соляной кислоте, всего	74,75
В том числе:	
$\text{R}_2\text{O}_3(\text{Al}_2\text{O}_3; \text{Fe}_2\text{O}_3)$	10,75
$\text{RO}(\text{CaO})$	21,37
$\text{RO}(\text{MgO})$	5,03
CaSO_4	4,79
CaCO_3	34,73
MgCO_3	7,32
MgCaCO_3	16,01
Вещества, нерастворимые в соляной кислоте	25,25

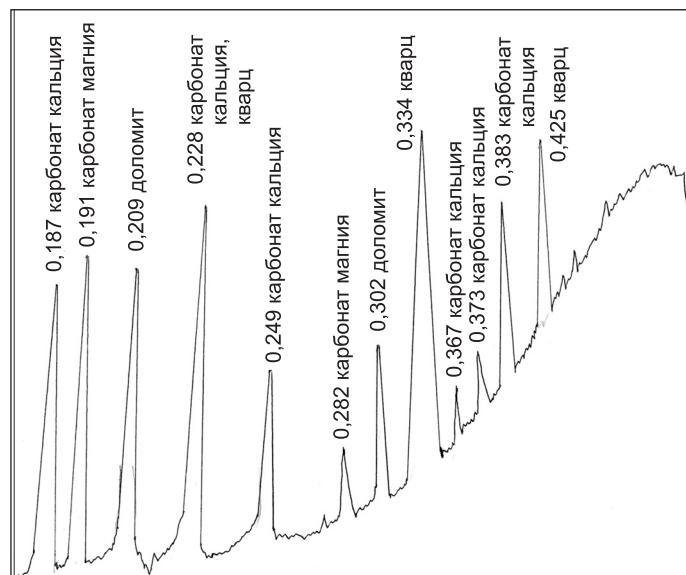


Рис. 1. Рентгенограмма нефтяного кека (твердого нефтесодержащего отхода сепарации нефтелшлама)

Поэлементный анализ нефтяного кека

Таблица 3

C	O	Na	Mg	Al + Ti	Si	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe
Кек (нефтесодержащий отход)											
24,02	35,67	0,83	0,87	2,14	5,49	2,10	0,73	0,89	22,58	0,53	4,15
Смышляевская глина											
	56,8			13,46 + 1,57	18,47			3,99	2,46		3,25

Оксидный химический состав смышляевской глины

Таблица 4

Содержание оксидов, мас. %							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	R ₂ O	SO ₃	П.п.п.
58,89	14, 43	4,8	2,7	7,2	3,4	0,05	7,8

Минералогический состав смышляевской глины

Таблица 5

Содержание минералов, мас. %						
Гидрослюдя	Кварц	Гипс	Полевой шпат	Каолинит	Монтмориллонит	Оксиды железа
5–10	25–30	3–5	8–20	—	45–50	5–7

стиями 1,2 мм. Шихта (табл. 6), согласно рецепту, тщательно перемешивалась и затворялась водой до формовочной влажности (20...24 %). Подготовленная керамическая масса с целью усреднения ее влажности помещалась на одни сутки в экскатор, после чего производилось формование сферических гранул диаметром 16 мм на ручном прессе при давлении 2,5 кг / см². Обжигали образцы в лабораторной печи при температуре 1100 °C.

В табл. 6 приведены соотношения компонентов шихты экспериментальных составов и основные физико-механические показатели полученного керамзита.

Строение полученных гранул аналогично керамзитовым, они имели высокопористую структуру ядра и сплошную плотную корочку.

Известно, что для раскрытия структурных особенностей керамических материалов все чаще стали обращаться к электронному микроскопу, используя метод фрактографии (изучение сколов) и реплик. Метод скола основан на допущении, что в тонкозернистом материале раскол проходит по индукционной поверхности, а следовательно, наблюдаемый микрорельеф скола отражает структуру образующегося вещества. Опыт исследования тонких различий аморфных и кристаллических пород показал

Таблица 6

Составы и основные физико-механические показатели заполнителя

правильность указанного допущения: сейчас уже нет необходимости говорить о значении метода.

Обжиг исследуемых теплоизоляционных материалов при 1100 °C способствует появлению желтоватых и бурых стекол с показателями предломления до 1,58...1,61, образовавшихся в ре-

№ состава	Количество вводимого отхода (кека), мас. % глинистого сырья	Прочность при сжатии в цилиндре, МПа	Насыпная плотность, кг / м ³	Крупность зерен, мм
1	—	2,2	650	5...10
2	10	1,85	520	5...10
3	20	1,71	470	5...10
4	30	1,63	395	5...10

зультате плавления шпатов и смешаннослойных глинистых образований. Появление желтоватых и бурых стекол объясняется высоким содержанием Fe_2O_3 в глине Смышляевского месторождения и щелочей R_2O в жидким стекле.

Пиропластическое состояние керамзита наступает в результате накопления в нем достаточного количества жидкой фазы — силикатного расплава [1]. Интенсивность накопления жидкой фазы зависит, прежде всего, от химического состава глины и добавок. Она возрастает с увеличением содержания щелочей в глине и резко убывает по мере возрастания в ней свободного кварца.

Сильное влияние на процесс накопления жидкой фазы оказывает химический состав газовой среды. Восстановительная среда резко интенсифицирует процесс накопления жидкой фазы. Это связано главным образом с переводом Fe_2O_3 в FeO [1, 2]. Важно иметь в виду, что процесс восстановления оксидного железа в закисное сопровождается повышением молекулярной концентрации реагирующих оксидов, так как из одной молекулы Fe_2O_3 образуются 2FeO . Если вспомнить из физической химии одно из следствий закона Рауля, согласно которому температура плавления смеси понижается пропорционально молекулярной концентрации реагирующих веществ, то становится понятным, что процессы восстановления оксидов железа ускоряют переход глины из хрупкого в пиропластическое состояние. Наиболее интенсивно восстановительные процессы развиваются при взаимодействии железистых оксидов с органическими веществами, которые в достаточном количестве содержатся в нефтяном кеке. Поэтому наличие органических примесей или добавок в глине способствует заметному повышению их вспучиваемости.

Электронно-микроскопическое изучение образцов, обожженных при температурах 1050...1100 °C, по методу реплик с предварительным претравливанием поверхности свежего скола 3%-м HF показало, что стекло претерпело интенсивную ликвацию и разделилось на капельную фазу и матрицу.

Капли имеют сложную, но преимущественно округлую форму и размеры от долей до 3 мкм, которые сильно зависят от температуры термообработки.

По мнению О.С. Грум-Гржимайло [3], случаи, когда капли имеют форму шара и располагаются на значительных расстояниях друг от друга, сравнительно редки. Чаще при электронно-микроскопическом изучении стеклофазы широкого «спектра» составов фиксировали ликвационную структуру с весьма малыми размерами капель (0,03...0,05 мкм) и их тесное расположение.

С повышением температуры обжига до 1100 °C наблюдаются уменьшение концентрации капель и потеря ими четких контуров. Подобную ликвационную структуру можно условно назвать остаточной.

Ликвация начинается по краям зерен стеклофазы еще до начала спекания изделия и распространяется вглубь, захватывая зерна целиком или частично, что определяется их размерами, составом и условиями обжига. Вслед за ликвацией после практически полного расплавления аморфной фазы ($\lg \eta = 3...3,5 \text{ Па}\cdot\text{с}$) начинается процесс образования кристаллов. В зависимости от степени завершенности каждого из двух указанных процессов в аморфной фазе могут преобладать участки следующих четырех видов: 1) распространение кристаллов; 2) совместное нахождение кристаллов и остаточных ликвационных капель; 3) однородная ликвационная структура; 4) неизменное стекло.

Основным условием, обеспечивающим вспучивание глинистых пород при их нагревании, является совмещение во времени пиропластического состояния глины с интенсивным газовыделением внутри обжигаемого материала. Важно усвоить, что каждый из этих факторов в отдельности еще не обеспечивает возникновения процесса вспучивания. Необходимо, чтобы они действовали одновременно. По-видимому, в нашем случае это правило частично соблюдается.

На рис. 2 представлена рентгенограмма исследуемого теплоизоляционного материала, обожженного при температуре 1100 °C.

На дифрактометре порошка отмечаются характерные интенсивные линии ($d/n = 0,122; 0,270; 0,339; 0,540$ нм) муллита, присутствие линий ($d/n = 0,145; 0,148; 0,184; 0,251; 0,270; 0,365$ нм) обусловлено гемати-

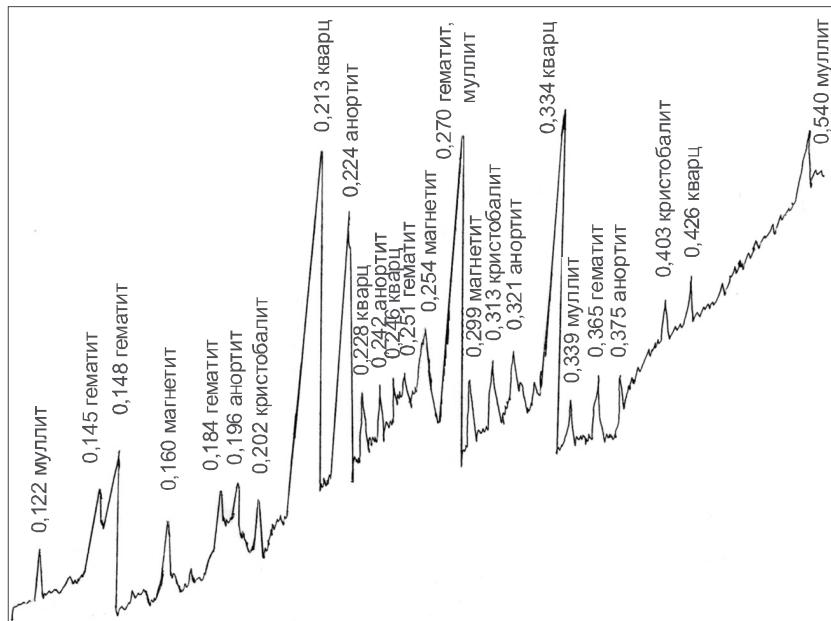


Рис. 2. Рентгенограмма керамзита, обожженного при температуре 1100 °C

том, линий ($d/n = 0,202; 0,313; 0,403$ нм) — кристобалитом, ($d/n = 0,160; 0,254; 0,299$ нм) — магнетитом, ($d/n = 0,196; 0,224; 0,242; 0,321; 0,375$ нм) — анортитом и ($d/n = 0,213; 0,228; 0,246; 0,334; 0,426$ нм) — кварцем. О повышенном содержании стеклофазы в исследуемом теплоизоляционном материале свидетельствует соотношение интегральных площадей аморфного гало и дифракционных отражений на рентгенограммах.

Как видно из рентгенограммы (рис. 2), при обжиге теплоизоляционного материала (керамзита) образуются новые минералы, гематит, муллит, кристобалит, анортит и магнетит.

Для оксида железа известны полиморфные модификации: устойчивая α -модификация или гематит ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) и неустойчивая модификация ($\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$), образующаяся при нагревании Fe_3O_4 в окислительной среде 220 °C [4]. При этом превращении магнитные свойства в кристаллической решетке исходного магнетита остаются неизменными [1, 4]. При температуре 550 °C происходят потеря магнитных свойств и изменение решетки, что связано с переходом β -фазы в устойчивую α -форму. Гематит, как было указано выше, в керамических материалах способствует образованию железистого стекла, которое инициирует образование муллита.

Магнетит (Fe_3O_4) занимает промежуточное положение и в связи с этим может образовываться в восстановительной среде, которая преобладает в середине образцов за счет частичного выгорания органических веществ (углерода) [4].

Анортит — полевой шпат ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) является конечным членом плахиоклазов, обладает всеми свойствами, присущими полевошпатовым, и в составе неметаллических материалов встречается только в устойчивой модификации [4].

Муллит — один из часто встречающихся минералов в обожженных керамических материалах. Высокие показатели по огнеупорности, плотности, химической стойкости и механической прочности привлекли внимание исследователей как к получению синтетического муллита, так и исследованию его структуры. Состав муллита долгое время являлся предметом дискуссий, в результате которых исследователи пришли к мнению, что состав муллита колеблется от $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ до $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ [3, 4].

Низкие физико-механические показатели образцов из исследуемых материалов (не более 2,5 МПа) (табл. 6) связаны с дефектностью кристаллической структуры муллита, что заметно по ослаблению интенсивности рентгеновских рефлексов и образованию вблизи них областей диффузного рассеяния. Характер дефектности не установлен. Предполагается, что одной из причин является наличие дислокаций на границе блоков кристаллов муллита, которые при сравнительно низких температурах обжига имеют зональное строение. Повышение температуры обжига, а также ввод легкоплавких добавок приводит к снижению дефектности структуры муллита и росту его способности сопротивляться действию серной кислоты.

Низкие физико-механические показатели образцов из исследуемых легкоплавких глин можно связать также с тем, что в керамических материалах образуется муллит с дефектами «тонкой» структуры. Они вызываются замещениями Fe^{3+} на Al^{3+} [2]. Посторонний ион вследствие отличия размера его радиуса от радиуса ионов решетки вызывает в ней искажение. Кристаллы такого муллита подвержены краевой дислокации. Области с закономерными отклонениями в расположении элементов структуры называются дислокациями.

При температуре обжига 1100 °С в исследуемых образцах происходит значительное увеличение стеклофазы (до 35...45 %), о чем свидетельствуют электронно-микроскопические снимки и изменение соотношения интегральных площадей дифракционных отражений и аморфного «гало» (рис. 2).

В литературе, как указывалось ранее, имеются различные данные о температуре превращения кварца в кристобалит при обжиге традиционных глин с добавками и без добавок плавней. И.С. Кайнарский и И.Г. Орлова в одной из работ¹ указывают, что интенсивное превращение кварца в кристобалит начинается при температуре 1000 °С и длительных выдержках, а при температурах 1250...1450 °С оно усиливается. В работе² И.С. Кайнарского имеются сведения о том, что температура превращения кварца в кристобалит лежит в пределах 1050...1100 °С.

Объемный эффект при переходе α -кварца в α -кристобалит, как неоднократно указывалось, составляет 15,4 %, что способствует разрыхлению поверхности кристаллической решетки^{1,2} [1]. У разрыхленных и богатых дефектами, а также аморфных веществ твердофазовые реакции протекают быстрее благодаря ускоренной самодиффузии и гетеродиффузии² [4].

¹ Кайнарский И.С., Орлова Н.Г. Физико-химические основы керамики. М.: Наука, 1956. 128 с.

² Кайнарский И.С. Процессы технологии огнеупоров. М.: Стройиздат, 1959. 126 с.

Таким образом, исследования показали, что твердые нефтесодержащие отходы сепарации нефтешлама способствуют образованию муллита и анортита при температуре обжига керамзита 1100 °С. Полученный эффективный керамзит имеет невысокую насыпную плотность (395...650 кг/м³).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Онацкий, С.П. Производство керамзита [Текст] / С.П. Онацкий. — М. : Стройиздат. — 1971. — 311 с.
2. Абдрахимов, В.З. Роль оксида железа в формировании структуры керамических материалов [Текст] / В.З. Абдрахимов // Изв. вузов. Строительство. — 2009. — № 2. — С. 31–36.
3. Грум-Гржимайло, О.С. Механизм формирования глушителя в легкоплавких борно-циркониевых глазурах [Текст] / О.С. Грум-Гржимайло, К.К. Квятовская, Л.М. Саватеева, Л.М. Сироткина, Н.С. Андреева // Тр. ин-та НИИстройкерамики. — 1979. — С. 127–145.
4. Литвинова, Г.И. Петрография неметаллических включений [Текст] / Г.И. Литвинова, В.П. Пирожкова. — М. : Металлургия, 1972. — 184 с.

КУЛИКОВ В.А., инж.; E-mail: samarastroy@list.ru

Самарский государственный архитектурно-строительный университет

АБДРАХИМОВ В.З., д-р техн. наук, проф.; E-mail: 3375892@mail.ru

Самарская академия государственного и муниципального управления

КОВКОВ И.В., канд. техн. наук; E-mail: kovkoviv@mail.ru

ПК (производственный кооператив) «НАУКА», г. Усть-Каменогорск, Казахстан

Получено после доработки 31.03.10

Kulikov V.A., engineering; E-mail: samarastroy@list.ru, Samara State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Abdrahimov V.Z., doctor of technical sciences, professor; E-mail: 3375892@mail.ru, Samara Academy of State and Municipal Management, Russia

Kovkov I.V., candidate of technical sciences; E-mail: kovkoviv@mail.ru, PC (Production cooperative) «SCIENCE», Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

INFLUENCING OF HARD OILY WASTE METAL OF SEPARATION OF THE PETROSLUDGE ON THE PHASE COMPOUND AND PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF THE EXPANDED CLAY

Studies have demonstrated that hard oily waste metal of separation of a petro raw sludge promote formation of mullit and anortit at temperature of furnacing of an expanded clay of 1100 °C. The received effective expanded clay has low bulk weight 395...650 kg/m³.

Key words: haematite, quartz, expanded clay, factor of constructional quality, cristobalite, liquation, montmorillonite clay, mullit, an oil cake, glassy phase, phase makeup, the electron microscope.

REFERENCES

1. Onatsky, S.P. Production of an expanded clay [Text] / S.P. Onatsky. — M. : Stroyizdat. — 1971. — 311 p.
2. Abdrahimov, V.Z. Role of oxide of iron in forming of pattern of ceramic materials [Text] / V.Z. Abdrahimov // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2009. — N 2. — P. 31–36.
3. Groom-Grgimaylo, O.S. The gear of forming of a dampener in fusible borneo-tsirkonievyh glazes [Text] / O.S. Groom-Grgimaylo // Tr. NIistroykeramiki. — 1979. — N 8. — P. 127–145.
4. Litvinova, G.I. Petrography of non-metallic switch connections [Text] / G.I. Litvinova, V.P. Pirozhkova. — M. : Metallurgy, 1972. — 184 p.

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 69.003:658.012.22

Ю.Б. КАЛУГИН

РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ РАБОТ

На основе композиции вероятностных законов продолжительности, соответствующих высокому, среднему и низкому уровням организации строительных подразделений, получены выражения, позволяющие определить смещение математических ожиданий поздних окончаний параллельных работ.

Ключевые слова: достоверность планов, законы распределения продолжительности, параллельное выполнение работ, математическое ожидание.

Анализ современного состояния теории и практики календарного планирования показывает недостаточную надежность и достоверность этих планов и программ. Так, фактическая стоимость и продолжительность строительства существенно (в 1,5–2 раза) превышают соответствующие показатели, определенные на стадии планирования [1]. Причина такой разницы между плановыми и фактическими параметрами заключается прежде всего в воздействии на выполняемые работы многочисленных дестабилизирующих факторов: технических, технологических, организационных, управлеченческих, социальных, природно-климатических и др.

Учитывая вероятностную природу большинства дестабилизирующих факторов, достаточно сложно установить аналитические зависимости, определяющие характер и степень их влияния на продолжительность работ, что и предопределяет необходимость их совокупного учета посредством использования вероятностных оценок продолжительности выполнения работ.

Выполненные исследования позволили выделить три основные группы строительных подразделений и соответствующий им характер распределения случайных значений продолжительности выполнения работ (в % к плановым): подразделения с высоким, средним и низким уровнями организации и управляемости.

Так, для подразделений с *высоким уровнем* организации и управляемости продолжительность выполнения одной работы подчиняется нормальному закону распределения в диапазоне от 50 до 150 % и средним значением 100 %.

Средний уровень организации и управляемости характеризуется увеличением диапазона изменения продолжительности выполнения работ (более 200 %) и смещением математического ожидания до величины 140...145 % от плановой продолжительности.

Установлено, что в качестве теоретического распределения в данном случае может использоваться распределение Пуассона или усеченное нормальное распределение со следующими характеристиками: центр интервального ряда — $x_0 = 160$; средняя — $\bar{x} = 142,4$; среднее квадратичное отклонение $\sigma^2 = 3102$, $\sigma = 55,7$.

В строительных подразделениях с *низким уровнем организации и управляемости* продолжительность выполнения работ характеризуется еще большим смещением математического ожидания (до 200 %), диапазоном изменения продолжительности до 300 % и равномерным законом распределения.

Помимо смещения математического ожидания продолжительности выполнения каждой отдельной работы в календарных планах происходит и увеличение сроков окончания взаимосвязанных параллельных работ.

Так, при параллельном выполнении комплекса работ (рис. 1) срок начала последующей работы определяется максимальным сроком окончания предшествующих работ:

$$t_j^{\text{ph}} = \max(t_1^{\text{po}}, \dots, t_i^{\text{po}}, \dots, t_m^{\text{po}}). \quad (1)$$

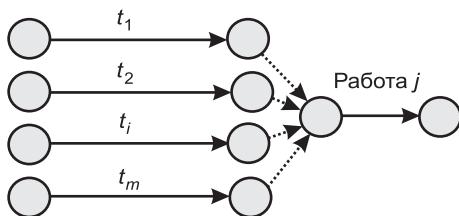


Рис. 1. Расчетная схема к определению

$$t_j^{\text{ph}} = \max(t_1^{\text{po}}, t_2^{\text{po}}, t_i^{\text{po}}, t_m^{\text{po}})$$

С увеличением количества взаимосвязанных параллельных работ математическое ожидание общего срока их окончания (раннего начала следующей работы) будет сдвигаться вправо по календарной шкале, что существенно увеличит продолжительность реализации проекта (по сравнению с плановой).

Для определения характера и вида этой зависимости для различ-

ных законов распределения продолжительности выполнения работы (нормальный закон; распределение Пуассона и усеченное нормальное; равномерный закон), соответствующих высокому, среднему и низкому уровням организации и управляемости строительных подразделений, были выполнены соответствующие расчеты.

Для нормального закона распределения продолжительности работ на основании [2]

$$\Phi_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-t^2/2} dt$$

были рассчитаны значения x центров тяжести равных площадей $0,0625\Phi_0$ при $0,5I = 1,8625t$ и $\Phi_0 = 0,46875$ (рис. 2).

На рис. 3 представлены результаты расчета математического ожидания величины t_j^{ph} , вычисленной в результате композиции двух нормальных законов распределения в соответствии с выражением (1) и данными рис. 2.

Смещение математического ожидания для двух параллельных работ равной продолжительности составило $0,147I$, где I — величина интервала.

Очевидно, что в реальных условиях календарного планирования интервал будет увеличиваться вместе с увеличением числа параллельных работ. Так, можно предположить, что в условиях нормального закона распределения случайной величины Y для двух параллельных работ при смещении математического ожидания на величину $\Delta_2 = 0,147I$ величина итогового интервала составит $I_2 = 1,147I$.

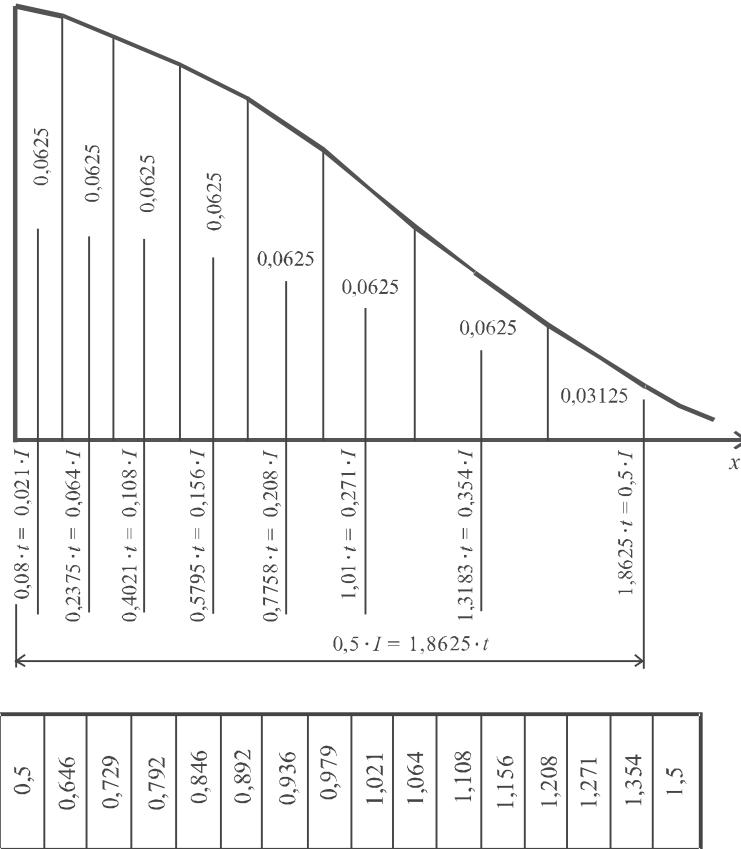


Рис. 2. Нормальное распределение и значение x центров тяжести равных площадей

Для другой пары из k параллельных работ при смещении математического ожидания на величину $\Delta_2 = 0,147I$ величина итогового интервала также составит $I_2 = 1,147I$.

В общем случае для k параллельных работ при $k = 2^s$

$$\Delta_k = I(1,147^s - 1). \quad (2)$$

После ряда преобразований

$$\Delta_k = I(k^{0,198} - 1). \quad (3)$$

Выражение (3) позволяет определять величину смещения математического ожидания позднего окончания k параллельных работ в зависимости от числа этих работ и величины интервала I .

С учетом того, что средняя продолжительность одной работы (ее детерминированная оценка) составляет \bar{t}_1 , выражение (3) примет следующий вид:

$$\Delta_k = \bar{t}_1 \frac{I}{100} (k^{0,198} - 1). \quad (4)$$

Так, при $k = 10$ и интервале $I = 100$ (продолжительность выполнения одной работы подчиняется нормальному закону и меняется от 50 до 150 %)

$$\Delta_k = \bar{t}_1 \frac{100}{100} (10^{0,198} - 1) = 0,578 \bar{t}_1.$$

Таблица 1

Равновероятные значения X и $Y(2) = \max X$ при $I = 100$

50	64,6	72,9	79,2	84,6	89,2	93,6	97,9	102,1	106,4	110,8	115,6	120,8	127,1	135,4	150
50	64,6	72,9	79,2	84,6	89,2	93,6	97,9	102,1	106,4	110,8	115,6	120,8	127,1	135,4	150
1600,2	1550,2	1485,6	1412,7	1333,5	1248,9	1159,7	1066,1	968,2	866,1	759,7	648,9	533,3	412,5	285,4	150

$$Y(2) = \max(X)$$

$X = 50;$ $Y(2) = 100$	$X = 64,6;$ $Y(2) = 100,925$	$X = 72,9;$ $Y(2) = 101,96$	$X = 79,2;$ $Y(2) = 103,144$
$X = 84,6;$ $Y(2) = 104,5$	$X = 89,2;$ $Y(2) = 105,93$	$X = 93,6;$ $Y(2) = 107,58$	$X = 97,9;$ $Y(2) = 109,46$
$X = 102,1;$ $Y(2) = 111,563$	$X = 106,4;$ $Y(2) = 113,981$	$X = 110,8;$ $Y(2) = 116,73$	$X = 115,6;$ $Y(2) = 120,03$
$X = 120,8;$ $Y(2) = 123,93$	$X = 127,1;$ $Y(2) = 129,05$	$X = 135,4;$ $Y(2) = 136,313$	$X = 150;$ $Y(2) = 150$

$$\text{ср} \\ Y(2) = 114,7$$

Аналогичный подход был использован для расчета вероятностных параметров работ с распределением продолжительности по закону Пуассона, усеченного нормального и равномерного распределений.

Распределение Пуассона имеет следующие параметры: $I = 190\%$, $\bar{t}_1 = 150\%$. Расчеты показали, что смещение математического ожидания для двух параллельных работ равной продолжительности составило $0,155I$, где I — величина интервала.

С учетом этих параметров

$$\Delta_k = t_1 \left[(1,5 - 1) + \frac{190}{100} (k^{0,208} - 1) \right] \quad (5)$$

или

$$\Delta_k = t_1 [0,5 + 1,9(k^{0,208} - 1)], \quad (6)$$

где t_1 — плановая продолжительность выполнения одной работы (детерминированная оценка).

При $k = 10$

$$\Delta_k = t_1 [0,5 + 1,9(10^{0,208} - 1)] = 1,67t_1.$$

Для усеченного нормального распределения с параметрами $I = 200\%$, $\bar{t}_1 = 140\%$ смещение математического ожидания двух параллельных работ составило $0,162I$.

Тогда

$$\Delta_k = t_1 \left[(1,4 - 1) + \frac{200}{100} (k^{0,216} - 1) \right] \quad (7)$$

или

$$\Delta_k = t_1 [0,4 + 2(k^{0,216} - 1)], \quad (8)$$

где t_1 — плановая продолжительность выполнения одной работы (детерминированная оценка).

Так, при $k = 10$

$$\Delta_k = t_1 [0,4 + 2,0(10^{0,216} - 1)] = 1,69t_1.$$

Следует отметить явную близость выражений (5) и (7), а также (6) и (8), что подтверждает адекватность описания вероятностных параметров работ, выполняемых строительными подразделениями со средним уровнем организации и управляемости, как распределением Пуассона, так и усеченным нормальным.

Распределение позднего окончания двух параллельных работ в случае равномерного распределения будет иметь треугольную форму. Математическое ожидание позднего окончания двух параллельных работ смещается на величину $\Delta_2 = 0,167I$.

Тогда с учетом вышеизложенных соображений

$$\Delta_k = t_1 \left[(2,0 - 1) + \frac{300}{100} (k^{0,222} - 1) \right]$$

или

$$\Delta_k = t_1 [1,0 + 3(k^{0,222} - 1)], \quad (9)$$

где t_1 — плановая продолжительность выполнения одной работы (детерминированная оценка).

При $k = 10$

$$\Delta_k = t_1 [1,0 + 3,0(10^{0,222} - 1)] = 3,0t_1.$$

Анализ выражений (4)–(9) показывает, что величина смещения математического ожидания позднего окончания k параллельных работ в большей степени зависит от величины интервала I и математического ожидания (средней продолжительности выполнения одной работы) \bar{t}_1 .

Особый интерес для теории и практики календарного планирования представляет расчет вероятностных параметров параллельных работ разной продолжительности.

С этой целью также использовался подход, изложенный выше. Для нормального закона распределения продолжительности работ были рассчитаны значения x центров тяжести равных площадей $0,0625\Phi_0$ при $0,5I = 1,8625t$ и $\Phi_0 = 0,46875$ для работ с разными значениями \bar{x} . Расчеты Δ_2 проводились для двух работ с различными значениями $z = \bar{x}_2 / \bar{x}_1$ и $I = \bar{x}$ (рис. 4).

Результаты аппроксимации значений $z = \bar{x}_2 / \bar{x}_1$ позволили вывести зависимость

$$\Delta_2 = 670,5 \cdot 0,022^z, \quad (10)$$

где Δ_2 — величина смещения математического ожидания позднего окончания двух параллельных работ (в % от значения \bar{x}_2 или в соответствующих единицах времени):

$$\Delta_2 = \frac{\bar{x}_2}{100} 670,5 \cdot 0,022^z. \quad (11)$$

Так, при выполнении двух параллельных работ с детерминированными оценками (совпадающими с математическими ожиданиями \bar{x}_2 и \bar{x}_1), равными 30 и 24 соответственно, смещение математического ожидания составит

$$\Delta_2 = \frac{30}{100} 670,5 \cdot 0,022^{30/24} = 0,3 \cdot 670,5 \cdot 0,022^{1,25} = 1,7.$$

Таблица 2

Равновероятные значения X_1 , X_2 и $Y(2) = \max(X_1, X_2)$

50	1600,2
64,6	1550,2
72,9	1485,6
79,2	1412,7
84,6	1333,5
89,2	1248,9
93,6	1159,7
97,9	1066,1
102,1	968,2
106,4	866,1
110,8	759,7
115,6	648,9
120,8	533,3
127,1	412,5
135,4	285,4
150	150

$$I = X$$

41,67	53,83	60,75	66,0	70,5	74,33	78,0	81,58	85,08	88,67	92,33	96,33	100,67	105,92	110,8	115,6	120,8	127,1	135,4	150
-------	-------	-------	------	------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	-------	-------	-------	-------	-------	-----

$$Y(2) = \max(X_1, X_2)$$

$X_1 = 41,67$; $Y(2) = 100$	$X_1 = 53,83$; $Y(2) = 100,25$	$X_1 = 60,75$; $Y(2) = 100,68$	$X_1 = 66,0$; $Y(2) = 101,1$
$X_1 = 70,5$; $Y(2) = 101,66$	$X_1 = 74,33$; $Y(2) = 102,23$	$X_1 = 78,0$; $Y(2) = 102,92$	$X_1 = 81,58$; $Y(2) = 103,74$
$X_1 = 85,08$; $Y(2) = 104,64$	$X_1 = 88,67$; $Y(2) = 105,77$	$X_1 = 92,33$; $Y(2) = 107,105$	$X_1 = 96,33$; $Y(2) = 108,78$
$X_1 = 100,67$; $Y(2) = 110,85$	$X_1 = 105,92$; $Y(2) = 113,71$	$X_1 = 112,83$; $Y(2) = 118,13$	$X_1 = 125$; $Y(2) = 127,34$

$$Y(2) = 106,81$$

Математическое ожидание позднего окончания двух параллельных работ составит 31,7.

Выражение (11) можно записать следующим образом:

$$\Delta_2 = \bar{x}_2 \frac{I}{100} 6,7 \cdot 0,022^z. \quad (12)$$

Аналогичные расчеты были выполнены и для соответствующего распределения Пуассона.

Результаты аппроксимации значений $z = \bar{x}_2 / \bar{x}_1$ позволили вывести следующую зависимость:

$$\Delta_2 = I \cdot 3,05 \cdot 0,051^z, \quad (13)$$

где Δ_2 — величина смещения математического ожидания позднего окончания двух параллельных работ (в % от значения \bar{x}_2 или в соответствующих единицах времени):

$$\Delta_2 = t_2 \left[(k_{\text{mo}} - 1) + \frac{I}{100} 3,05 \cdot 0,051^z \right] \quad (14)$$

при

$$\bar{x}_2 = k_{\text{mo}} t_2, \quad (15)$$

где k_{mo} — коэффициент смещения математического ожидания продолжительности работы от ее планируемой детерминированной оценки (для рассматриваемого случая $k_{\text{mo}} = 1,5$);

t_2 — планируемая детерминированная оценка.

Пусть плановые продолжительности отдельных работ составляют $t_1 = 24$, $t_2 = 30$.

Тогда

$$\Delta_2 = 30 \left[(1,5 - 1) + \frac{190}{100} 3,05 \cdot 0,051^{30/24} \right] = 30(0,5 + 0,14) = 19,2.$$

Математическое ожидание позднего окончания двух параллельных работ в этом случае составит $30 + 19,2 = 49,2$.

В результате расчетов для случая равномерного распределения продолжительностей при условиях $I = 300 \%$, $t_1 = 200 \%$ получена следующая зависимость:

$$\Delta_2 = I \cdot 1,4 \cdot 0,117^z. \quad (16)$$

При $\bar{x}_2 = k_{mo} t_2$ выражение (16) примет следующий вид:

$$\Delta_2 = t_2 \left[(k_{mo} - 1) + \frac{I}{100} 1,4 \cdot 0,117^z \right]. \quad (17)$$

Условные обозначения соответствуют выражениям (14), (15).

Пусть планируемые продолжительности отдельных работ составляют $t_1 = 24$, $t_2 = 30$.

Тогда при $k_{mo} = 2,0$

$$\Delta_2 = 30(2,0 - 1) + \frac{300}{100} 1,4 \cdot 0,117^{30/24} = 30(1 + 0,287) = 38,61.$$

Математическое ожидание позднего окончания двух параллельных работ в этом случае составит $30 + 38,61 = 68,61$.

Следует отметить, что результаты расчетов отклонений математических ожиданий параллельных работ, полученных с помощью выражений (4) и (12), (5) и (14), (9) и (17) соответственно, аналогичны.

Выводы. Параллельное выполнение работ с вероятностными временными параметрами оказывает существенное влияние на увеличение поздних сроков окончания этих работ.

Для различных законов распределения (нормальный, усеченный нормальный, Пуассона, равномерный), соответствующих высокому, среднему и низкому уровням организации и управляемости строительных подразделений, получены выражения, позволяющие определять смещение математических ожиданий поздних окончаний параллельных работ.

Анализ полученных зависимостей показывает, что наибольшее влияние на увеличение сроков поздних окончаний работ оказывают величина интервала и закон распределения.

Опыт календарного планирования показывает, что в чистом виде параллельные работы, независимо функционирующие в течение всего временного периода, в календарных планах встречаются довольно редко. Значительно чаще они реализуются в виде смежных работ, объединенных между собой различными ресурсными и объектными связями. Эта особенность и определяет необходимость дальнейшего исследования структуры ресурсных и объектных связей параллельных работ и учета ее влияния на вероятностные временные параметры и общую продолжительность календарных планов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калугин, Ю.Б. Совершенствование календарного планирования строительства в условиях неопределенности [Текст] / Ю.Б. Калугин. — СПб : ВТУ ЖДВ, 2005. — 151 с.
2. Справочник по вероятностным расчетам [Текст]. — М. : Воениздат, 1966. — 407 с.

*КАЛУГИН Ю.Б., д-р техн. наук, проф.; Yuri Kalugin@inbox.ru
Военно-транспортный институт железнодорожных войск и военных сообщений,
г. Санкт-Петербург*

Получено 26.01.10

Kalugin Yu.B., doctor of technical sciences, professor; *Yuri Kalugin@inbox.ru*, Military Institute of rail transport troops and military communications, St.-Petersburg, Russia

CALCULATION OF PROBABILISTIC PARAMETERS OF PARALLEL PROCESSES

On the basis of probability laws duration of the works, corresponding to high, medium and low level of organization of contractors to obtain expressions for determining the displacement of the mathematical expectations the end of parallel operations.

Key words: reliability plans, the distribution laws duration of the works, the parallel execution of works, the mathematical expectations.

REFERENCES

1. Kalugin, Yu.B. Improving the scheduling of construction in the face of uncertainty [Text] / Yu.B. Kalugin. — St.-Petersburg : Military Institute of rail transport troops and military communications, 2005. — 151 p.
 2. Handbook of probability calculations [Text]. — Moscow : Military Publishing, 1966. — 407 p.
-

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

УДК 697.942.2.001

М.И. ШИЛЯЕВ, Е.М. ХРОМОВА, А.В. ТУМАШОВА

СРАВНЕНИЕ ПРЯМОТОЧНЫХ И ПРОТИВОТОЧНЫХ АППАРАТОВ КОНДЕНСАЦИОННОГО УЛАВЛИВАНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ

Проведено сравнение эффективностей и удельных энергозатрат на очистку крекинг-газов в скруббере Вентури и противоточном форсуночном скруббере в конденсационном режиме улавливания тонкодисперсной пыли.

Ключевые слова: конденсация, субмикронные частицы, эффективность пылеулавливания, скруббер Вентури, противоточный форсуночный скруббер.

В работах [1, 2] представлена физико-математическая модель конденсационного улавливания пыли с размерами частиц меньше 0,1 мкм из крекинг-газов и воздуха в противоточном форсуночном скруббере (ПФС) и скруббере Вентури (СВ). В результате проведенных расчетов показано, что опытные данные по улавливанию сажи из крекинг-газов в ПФС [3] подтверждают работоспособность модели. Расчеты, проведенные на основе модели для СВ в изотермических условиях (без массообмена), хорошо согласуются с эмпирической экспоненциальной зависимостью для фракционного коэффициента проскока и свидетельствуют о том, что модель удовлетворительно описывает механизм столкновения как сухих частиц, так и «образований» — частиц с конденсатом на поверхности с каплями диспергируемой жидкости.

Представляет интерес сопоставить между собой в одинаковых условиях габариты, удельные энергозатраты на очистку газов от тонкодисперсной пыли в конденсационном режиме улавливания частиц на капли жидкости в прямоточных и противоточных аппаратах. Для этого будем сравнивать ПФС и СВ в условиях равенства расходов очищаемых крекинг-газов от сажевых частиц, соответствующих опытным данным [3] для ПФС.

Схема ПФС приведена на рис. 1, схема СВ — на рис. 2.

Сравнительные расчеты проводились при следующих данных: для ПФС $q = 7,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3$, $\delta_{k0} = 700 \text{ мкм}$, $V_{k0} = 24,5 \text{ м}/\text{с}$, $\Theta_0 = 293 \text{ К}$, $T_{00} = 443 \text{ К}$, $d_0 = 0,93 \text{ кг}/\text{кг сух. возд.}$, $U_0 = 0,25 \text{ м}/\text{с}$, $\delta_0 = 0,12 \text{ мкм}$, $c_0 = 1,72 \text{ г}/\text{м}^3$, $D = 3,0 \text{ м}$, $H = 2; 3; 6; 9; 11; 12,5 \text{ м}$. Здесь коэффициент орошения $q = Q_{ж} / Q_{пп}$; $Q_{ж}$ — объемный расход орошающей жидкости; $Q_{пп}$ — объемный расход парогазового потока на входе; δ_{k0} и V_{k0} — начальные размер и скорость капель, определялись с помощью метода расчета центробежных форсунок [4]; Θ_0 , T_{00} , d_0 , U_0 , δ_0 , c_0 — начальные температура капель, температура парогазового потока, влагосодержание, скорость парогазового потока, размер частиц пыли, концентрация пыли; H и D — высота и диаметр скруббера (задавались по опытным данным). Для СВ диаметр

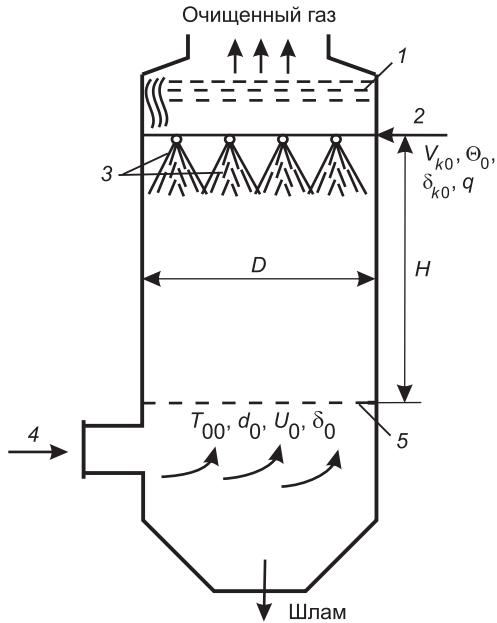


Рис. 1. Схема прямоточного форсуночного скруббера

1 — каплеуловитель; 2 — вода; 3 — форсунки;
4 — запыленный парогазовый поток; 5 — газо-
распределительная решетка

тает, но чем выше величины l / D_r и H / D , тем этот рост становится менее выраженным. Рост эффективности, как следует из рис. 3, а, обусловлен, прежде всего, укрупнением «образований» — частиц с конденсатом на поверхности. Замедление темпа роста эффективности в зависимости от длины конфузора, высоты скруббера связано с уменьшением концентрации частиц в потоке и со снижением вероятности столкновения «образований» с каплями жидкости. Предложенная модель дает возможность определить оптимальную длину трубы Вентури l или высоту скруббера H для требуемой эффективности пылеулавливания.

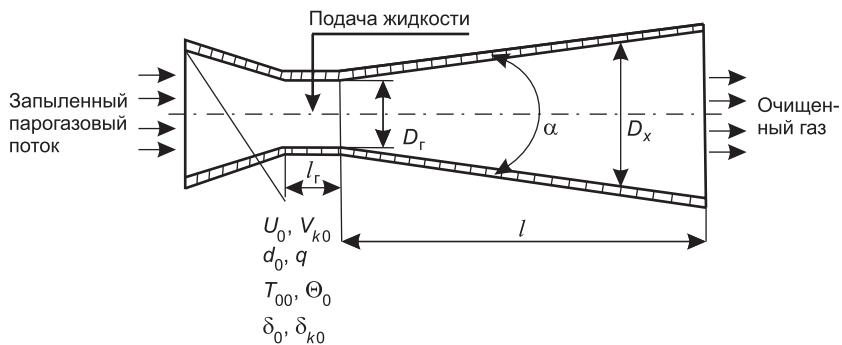


Рис. 2. Схема трубы Вентури (скруббера Вентури без каплеуловителя)

На рис. 5 приведены результаты расчетов относительного размера «образований» и эффективности ПФС для тех же условий, что и для СВ, соответствующих экспериментальным данным для ПФС по улавливанию сажи из крекинг-газов [3] в зависимости от начальной температуры капель. Высота опытного ПФС была равной $H = 12,75$ м, диаметр $D = 3$ м. Из рисунка видно, что с уменьшением температуры капель на входе Θ_0 эффективность

горловины трубы D_r определялся из условия равенства объемных расходов парогазового потока на входе в сравниваемые аппараты. Так, при $U_0 = 80$ м/с $D_r = 0,17$ м, при $U_0 = 160$ м/с $D_r = 0,12$ м. Угол α варьировался, также варьировалась длина скруббера l . Начальный размер капель δ_{k0} для СВ рассчитывался по формуле Нукиямы—Танасавы в зависимости от $U_0 - V_{k0}$, плотности жидкости $\rho_{ж}$, q , коэффициента поверхностного натяжения жидкости $\sigma_{ж}$ (для воды $\sigma_{ж} = 0,072$ Н/м), значение V_{k0} задавалось равным 4,0 м/с.

Результаты расчетов обобщены на рис. 3 и 4 для оптимального угла $\alpha = 7^\circ$, соответствующего максимальной эффективности пылеулавливания. Из рисунков видно, что с увеличением относительной длины трубы Вентури, относительной высоты ПФС эффективность существенно возрастает.

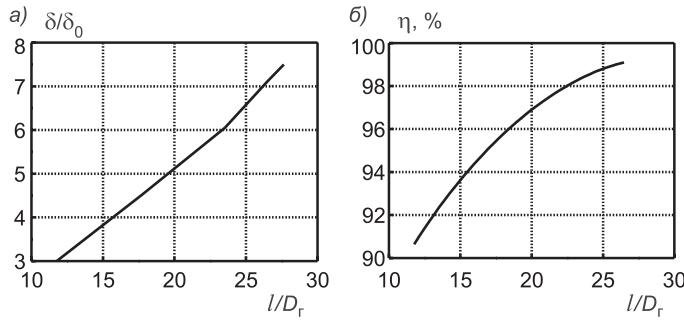


Рис. 3. Результаты расчетов по модели для скруббера Вентури:
 $q = 7,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3$, $V_{k0} = 4,0 \text{ м}/\text{с}$, $\Theta_0 = 293 \text{ К}$, $T_{00} = 443 \text{ К}$, $d_0 = 0,93 \text{ кг}/\text{кг сух. возд.}$, $U_0 = 80 \text{ м}/\text{с}$, $\delta_0 = 0,12 \text{ мкм}$, $c_0 = 1,72 \text{ г}/\text{м}^3$, $D_r = 0,17 \text{ м}$, $\alpha = 7^\circ$

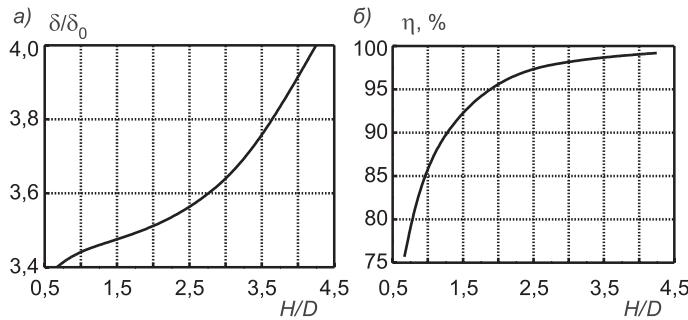


Рис. 4. Результаты расчетов по модели для ПФС: $q = 7,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3$, $\delta_{k0} = 700 \text{ мкм}$, $V_{k0} = 24,5 \text{ м}/\text{с}$, $\Theta_0 = 293 \text{ К}$, $T_{00} = 443 \text{ К}$, $d_0 = 0,93 \text{ кг}/\text{кг сух. возд.}$, $U_0 = 0,25 \text{ м}/\text{с}$, $\delta_0 = 0,12 \text{ мкм}$, $c_0 = 1,72 \text{ г}/\text{м}^3$, $D = 3,0 \text{ м}$

существенно возрастает. Так, снижение Θ_0 от 293 К (20 °C) до 278 К (5 °C) увеличивает эффективность на 8 %. Этот важный результат свидетельствует о том, что то же опытное значение эффективности $\eta \approx 90 \%$ могло быть получено при значительно меньшей высоте скруббера. Расчеты показывают, что при $\Theta_0 = 278 \text{ К}$ (5 °C) это значение эффективности достигается при высоте $H \approx 4...5 \text{ м}$ вместо 12,7 м, что существенно сокращает габариты и металлоемкость всей конструкции. На рис. 5, б точкой обозначено опытное значение эффективности, откуда следует, что работоспособность модели хорошо подтверждается экспериментом.

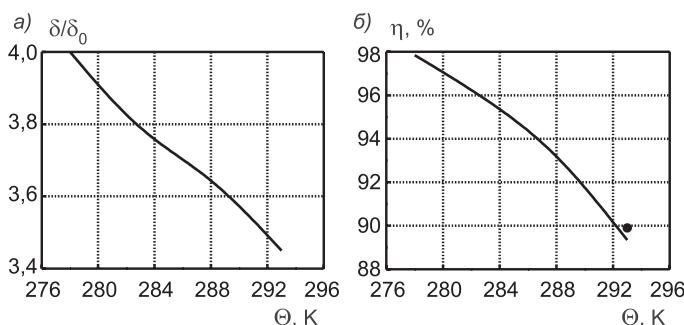


Рис. 5. Результаты расчетов по модели для ПФС: $H = 12,75 \text{ м}$, $q = 7,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3$, $\delta_{k0} = 700 \text{ мкм}$, $V_{k0} = 24,5 \text{ м}/\text{с}$, $T_{00} = 443 \text{ К}$, $d_0 = 0,93 \text{ кг}/\text{кг сух. возд.}$, $U_0 = 0,25 \text{ м}/\text{с}$, $\delta_0 = 0,1 \text{ мкм}$, $c_0 = 1,72 \text{ г}/\text{м}^3$

Проведенный анализ показывает, что для достижения той же требуемой эффективности прямоточные пылеуловители, в данном случае СВ, хотя и имеют преимущество перед противоточными по габаритам, но существенно их превосходят по удельным энергозатратам на очистку газов, определяющимся перепадами давления на аппаратах. Действительно, для СВ коэффициент гидравлического сопротивления можно оценить по формуле¹

$$\xi_{\text{т.в}} = \xi_c \left(1 + 0,63q^{0.7} \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho} \right), \quad (1)$$

где ξ_c — коэффициент сопротивления сухой трубы Вентури, принимается равным 0,12...0,15;

ρ — плотность газов.

Для наших условий для оценочных расчетов зададим $q = 7,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3$, $\rho_{\text{ж}} = 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\xi_c = 0,12$, $\rho \approx \rho_0 \frac{273}{T_{\text{cp}}} \text{ кг}/\text{м}^3$, $T_{\text{cp}} = 397,6 \text{ К}$, где $T_{\text{cp}} = 0,5(T_{00} + T_{\text{вых}})$, $T_{00} = 443 \text{ К}$, $T_{\text{вых}} = 352,2 \text{ К}$, $\rho_0 (273 \text{ К}) = 0,51 \text{ кг}/\text{м}^3$ [3], так что $\rho = 0,35 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Подставляя приведенные данные в (1), получим $\xi_{\text{т.в}} = 6,9$. Следовательно, при $U_0 = 80 \text{ м}/\text{с}$ перепад давления на трубе Вентури будет равен $\Delta T_{\text{т.в}} = \xi_{\text{т.в}} \rho \frac{U_0^2}{2} = 7728 \text{ Па}$, а при $U_0 = 160 \text{ м}/\text{с} — \Delta T_{\text{т.в}} = 30912 \text{ Па}$.

Это сопротивление несоизмеримо превосходит сопротивление ПФС, в котором основная часть энергии затрачивается на распыл жидкости, а гидравлическое сопротивление невелико (как правило, скорость очищаемого газа не превосходит 1 м/с). При этом такая же величина энергии затрачивается на распыл жидкости и в трубе Вентури. Так, удельная энергия, расходуемая на распыл жидкости, равна

$$\Delta P_{\text{ж}} = qP_{\text{ж}},$$

где $P_{\text{ж}}$ — давление, при котором жидкость подается на распыливающие форсунки, составляющее 300...400 кПа. Для наших условий получим

$$\Delta P_{\text{ж}} = 7,1 \cdot 10^{-3} (300 - 400) 10^3 = (2130 - 2840) \text{ Дж}/\text{м}^3.$$

Кроме того, для оценки общих габаритов СВ необходимо к габаритам трубы Вентури добавить габариты каплеуловителя, а также учесть затраты энергии на преодоление его гидравлического сопротивления.

Вывод. Вышесказанное свидетельствует о том, что противоточные схемы конденсационного пылеулавливания предпочтительнее прямоточных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шиляев, М.И. Физико-математическая модель конденсационного улавливания тонкодисперсной пыли в скруббере Вентури [Текст] / М.И. Шиляев, Е.М. Хромова, А.В. Григорьев // Изв. вузов. Строительство. — 2009. — № 9. — С. 52–58.
2. Шиляев, М.И. Конденсационный механизм улавливания субмикронных частиц в форсуночном скруббере [Текст] / М.И. Шиляев, Е.М. Хромова, Д.Е. Панов // Матер. междунар. науч. конф. «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды», 15–17 мая, г. Волгоград. — Волгоград : ВолГАСУ, 2009. — С. 290–295.
3. Ужов, В.Н. Очистка газов мокрыми фильтрами [Текст] / В.Н. Ужов, А.Ю. Вальдберг. — М. : Химия, 1972. — 247 с.

¹ Шиляев М.И., Шиляев А.М., Грищенко Е.П. Методы расчета пылеуловителей. Томск: ТГАСУ, 2006. 385 с.

4. В и т м а н , Л.А. Распыливание жидкостей форсунками [Текст] / Л.А. Витман, Б.Д. Кацельсон, И.И. Палеев. — М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1962. — 264 с.

ШИЛЯЕВ М.И., д-р техн. наук, проф.

Томский государственный архитектурно-строительный университет
ХРОМОВА Е.М., канд. физ.-мат. наук, доц.

Томский государственный архитектурно-строительный университет
ТУМАШОВА А.В., аспн.

Томский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 15.04.10

Shilyaev M.I., doctor of technical sciences, professor, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Khromova E.M., candidate of physical and mathematical sciences, assistant professor, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Tumashova A.V., post-graduate student, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

THE COMPARISON OF DIRECTFLOW AND COUNTERFLOW DEVICES OF CONDENSATION CATCHING SMALL PARTICLES

The comparison efficiencies and specific power inputs on clearing of krekings-gases in a scrubber of Venturi and counterflow atomizer scrubber in condensation mode catching small particles.

Key words: condensation, submicronic particles, efficiency of dust catching, scrubber Ventury, counterflow atomizer scrubber.

REFERENCES

1. Shilyaev, M.I. The physical and mathematical model condensation catching small particles in scrubber Ventury [Text] / M.I. Shilyaev, E.M. Khromova, A.V. Grigoryev // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2009. — N 9. — P. 52–58.
2. Shilyaev, M.I. The condensation mechanism of catching of submicronic particles in a atomizer scrubber [Text] / M.I. Shilyaev, E.M. Khromova, D.E. Panov // Materials of the international scientific conference «Quality of internal air and environment», May, 15–17th, Volgograd. — Volgograd : VolSUAB, 2009. — P. 290–295.
3. Uzhov, V.N. Gas cleaning with the wet filters [Text] / V.N. Uzhov, A.Yu. Waldberg. — Moscow : Chemistry, 1972. — 247 p.
4. Vitman, L.A. Raspylyvanie of liquids atomizers [Text] / L.A. Vitman, B.D. Katsnelson, I.I. Paleev. — M. ; L. : Stpowpab, 1962. — 264 p.

УДК 628.16.09

**Б.М. ГРИШИН, М.В. БИКУНОВА, Е.А. ТИТОВ,
В.В. ГОЛУБЕВ, М.А. САФРОНОВ**

**ИССЛЕДОВАНИЯ РЕАГЕНТОСБЕРЕГАЮЩЕГО СПОСОБА
КОАГУЛЯЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ ПОВЕРХНОСТНОГО
ИСТОЧНИКА**

На основе анализа существующих на станциях водоподготовки технологий интенсификации реагентной обработки природных поверхностных вод предложен способ коагулирования воды с применением высокоградиентного перемешивания, позволяющий значительно сократить расход серно-кислого алюминия, используемого в качестве коагулянта. Приведены данные лабораторных исследований по очистке воды Сурского водохранилища с применением предложенного способа, найдены наиболее рациональные режимы смешения коагулянта с обрабатываемой водой для обеспечения высокого эффекта удаления примесей.

Ключевые слова: природные воды, водоподготовка, интенсификация процессов коагуляции, высокоградиентное перемешивание.

Нередко на водопроводных очистных сооружениях городов в качестве основного реагента для очистки воды поверхностных источников используется серно-кислый алюминий $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 18\text{H}_2\text{O}$. Данный реагент имеет ряд недостатков, в частности, при низких температурах в зимнее время и в период паводка очистка воды сульфатом алюминия (СА) протекает неудовлетворительно: процессы хлопьеобразования и осаждения замедляются, хлопья образуются очень мелкие, в очищенной воде появляются заметные количества остаточного алюминия (вода опалесцирует).

В результате медленно протекающих процессов коагуляции с применением СА в зимнее время и в период паводка ухудшается качество очистки воды, и для снижения мутности, цветности и перманганатной окисляемости (ПО) воды до значений ПДК требуются повышенные дозы СА. Это приводит к существенному увеличению затрат на водоподготовку и создает опасность появления в водопроводной воде высоких концентраций остаточного алюминия, ПДК которого составляет 0,5 мг/л [1].

Для интенсификации процессов коагуляции примесей и сокращения доз коагулянта могут быть использованы различные реагентные и безреагентные способы. К одним из наиболее эффективных относится способ концентрированного коагулирования, который заключается в дозировании всего потребного количества коагулянта лишь в часть обрабатываемой воды (вспомогательный поток). После тщательного перемешивания в трубопроводе с раствором коагулянта вспомогательный поток обработанной воды объединяют (обычно в начале камер хлопьеобразования очистной станции) с потоком остальной — некоагулированной воды (рис. 1, а).

По данным [2], при обработке способом концентрированного коагулирования волжской воды достигнуто дополнительное уменьшение ее мутности и цветности, снижено содержание остаточного алюминия. Рекомендуемые соотношения расхода обрабатываемой коагулянтом воды и остальной воды могут меняться от 1:1,5 до 1:9 и для каждого конкретного

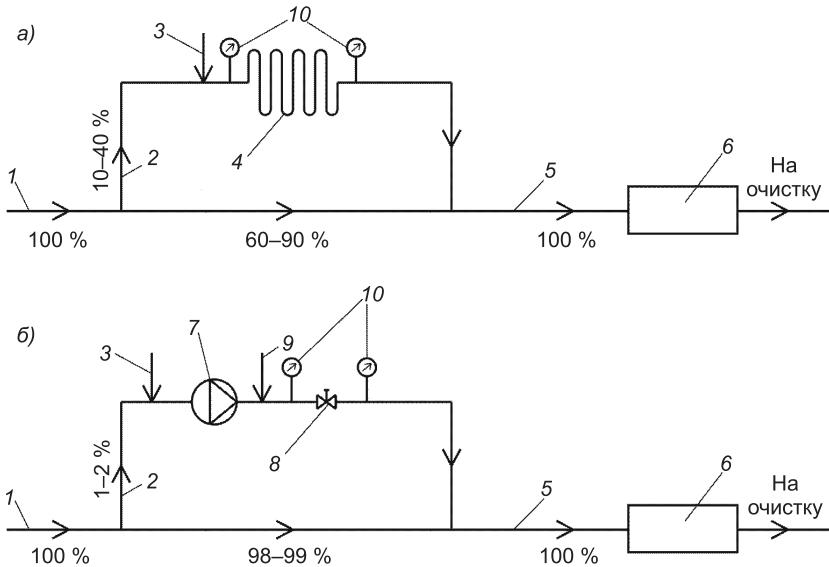


Рис. 1. Схема обработки воды по способу концентрированного коагулирования

а) существующее решение; б) предложенное решение

1 — подача воды; 2 — отвод части воды на реагентную обработку (вспомогательный поток); 3 — подача коагулянта; 4 — гидравлический смеситель (участок трубопровода); 5 — отвод общего потока; 6 — камера хлопьеобразования; 7 — центробежный насос; 8 — дросселирующее устройство; 9 — подача сжатого воздуха; 10 — манометры

случая подбираются опытным путем. Применение концентрированного коагулирования позволяет уменьшить расход СА на 15–20 % [2].

Эффективность концентрированного коагулирования во многом определяется полнотой и скоростью перемешивания раствора коагулянта со вспомогательным потоком воды, составляющим 10–40 % (рис. 1, а, поз. 2) от общего расхода очищаемой сырой воды. В качестве смесителя используется часть трубопровода, транспортирующего вспомогательный поток, где создаются местные сопротивления для обеспечения достаточной интенсивности перемешивания воды с коагулянтом (рис. 1, а, поз. 4).

Для оценки эффективности действия смесителей обычно используют среднюю величину градиента скорости G , созданного при перемешивании воды:

$$G = \sqrt{\frac{W}{\mu}} \text{ [c}^{-1}\text]}, \quad (1)$$

где W — работа, затраченная на перемешивание единицы объема воды за единицу времени, Па·с;

μ — динамическая вязкость воды, Па·с.

Для гидравлических перемешивающих устройств, работающих в напорном режиме:

$$W = \frac{\Delta p}{t} = \frac{\Delta p Q}{V_c}, \quad (2)$$

где Δp — потери давления, Па;

t — время перемешивания, с;

Q — расход воды через смеситель (перемешивающее устройство), м³/с;

V_c — объем смесителя, м³.

Для гидравлических смесителей рекомендуются значения G , которые находятся в диапазоне от $1,2 \cdot 10^2$ до $3,0 \cdot 10^2$ с⁻¹ [2]. Малая интенсивность перемешивания воды в смесителях приводит к медленному и неравномер-

ному растворению коагулянта и продуктов его гидролиза (в случае использования СА) в объеме воды и на поверхности частиц загрязнений, а также к образованию рыхлых, хотя и достаточно крупных микрохлопьев. Увеличение интенсивности перемешивания от значений G до 10^3 с^{-1} и более (например, с применением механических лопастных мешалок) может привести к разбиванию образовавшихся микрохлопьев и ухудшению последующего процесса очистки воды от примесей. Кроме того, установка лопастных мешалок на трубопроводе, транспортирующем вспомогательный поток воды, потребует устройства дополнительного герметичного резервуара и существенно усложнит эксплуатацию смесительного узла.

Осуществление процесса перемешивания раствора минерального коагулянта с водой при высоких значениях G (10^3 с^{-1} и более) без разрушения микрохлопьев, образованных продуктами гидролиза коагулянта с примесями (прежде всего взвешенными веществами), а также сокращение расходов коагулянта могут быть достигнуты способом его перемешивания с водой при одновременной подаче сжатого воздуха. Пузырьки воздуха, являясь центрами хлопьеобразования, в определенной степени предотвращают разрушение коагуляционных структур продуктов гидролиза минерального коагулянта за счет увеличения поверхности контакта с коагулирующими частицами и демпфирования мелкомасштабных турбулентных пульсаций в потоке воды.

Рекомендуемый расход воздуха составляет 10–20 % от количества обрабатываемой воды, время аэрации в смесителе при $G = 120 \text{ с}^{-1}$ — не менее 2–3 мин, потребность в сульфате алюминия при этом снижается до 30 % [2].

На основании анализа теоретических и экспериментальных исследований процессов коагуляции воды авторами предложен усовершенствованный способ концентрированного коагулирования с применением высокоградиентного перемешивания вспомогательного потока воды с раствором коагулянта и сжатым воздухом. Способ реализуется по следующей схеме (рис. 1, б). Вспомогательный поток очищаемой воды подается во всасывающий патрубок повысительного центробежного насоса 7 и с требуемым давлением пропускается через дросселирующее устройство 8. Степень закрытия дросселирующего устройства подбирается таким образом, чтобы перепад давлений Δp_d перед и за данным устройством при заданном расходе Q соответствовал расчетному перепаду Δp , позволяющему получать значения градиента скорости G , определяемого с использованием формул (1) и (2), порядка 10^4 с^{-1} . Раствор коагулянта (СА) подается во всасывающий патрубок насоса 7, а сжатый воздух с расходом 10–20 % от количества обрабатываемой воды — непосредственно перед дросселирующим устройством, в котором осуществляется диспергация пузырьков воздуха до размеров 300...500 мкм при времени смешения менее 1 с. Образующаяся тонкодисперсная система «вода — воздух» обладает высокой удельной поверхностью, а пузырьки воздуха становятся дополнительными центрами коагуляции коллоидных и тонкодисперсных загрязнений природных вод. Кроме того, аэрирование ускоряет процесс десорбции углекислоты, образующейся вследствие гидролиза коагулянта.

Таким образом, за счет суммарного воздействия нескольких факторов (быстрого и полного смешения коагулянта с водой, создания тонкодисперсной водовоздушной смеси, концентрированного коагулирования) в предлагаемом смесительном узле создаются благоприятные условия для проведения эффективной последующей очистки природных вод на сооружениях различного типа.

Так как повысительный насос является достаточно энергоемким устройством, расход вспомогательного потока в предлагаемом способе не превышает 1–2 % от общего расхода очищаемой воды, а требуемое давление, развиваемое насосом, задается на 10–15 % выше значения перепада давлений на дросселе Δp_d , что позволяет минимизировать энергопотребление при перекачивании вспомогательного потока.

Исследования влияния режимов перемешивания раствора коагулянта с исходной сырой водой на качество водоподготовки при использовании способа концентрированного коагулирования проводились на очистных сооружениях водопровода (ОСВ) площадки «Кирпичная» г. Пензы, работающих по схеме «отстаивание — фильтрование». Исходная сырая вода Сурского водохранилища с небольшим расходом отбиралась из напорного водовода, соединяющего насосную станцию I подъема с ОСВ, и подавалась на лабораторную установку с повысительным насосом и дросселирующим устройством, где смешивалась при различных значениях G с заданными дозами СА и сжатым воздухом. Расход воздуха составлял 10 % от расхода воды, проходящей через дросселирующее устройство. Часть обработанной воды, отобранный после лабораторной установки, смешивалась в стеклянной емкости объемом $V = 1,5$ л с исходной некоагулированной водой в соотношениях от 1:98 до 1:99. Таким образом моделировался предлагаемый способ концентрированного коагулирования с введением коагулянта в часть (1–2 %) очищаемой воды.

Исходя из соотношения объемов обработанной и необработанной воды дозы СА пересчитывались на 1 л полученной смеси. В указанной стеклянной емкости ($V = 1,5$ л) полученная смесь по аналогии с режимом работы камер хлопьеобразования ОСВ площадки «Кирпичная» дополнительно обрабатывалась флокулянтом — поликариламидом (ПАА) и подвергалась медленному перемешиванию с градиентом скорости 20 c^{-1} в течение 2 мин, после чего переливалась в литровый стеклянный цилиндр и отстаивалась в течение 2 ч. Отстоянная (осветленная) вода отбиралась из верхней части цилиндра и фильтровалась через бумажный фильтр «синяя лента». В каждой серии экспериментов исследовались пять проб, из них четыре пробы — с использованием воды, обработанной на лабораторной установке. Кроме того, одна контрольная пробы бралась для исходной сырой воды, которая обрабатывалась коагулянтом по стандартной методике [3] (быстрое перемешивание с $G = 120 \text{ c}^{-1}$ в течение 2 мин и далее медленное перемешивание с добавлением ПАА при $G = 20 \text{ c}^{-1}$ в течение 2 мин) с последующим отстаиванием и фильтрованием через бумажный фильтр. В контрольную пробу добавлялся раствор СА с дозой, принятой на ОСВ для обработки воды в день проведения эксперимента. Дозы ПАА во всех пробах каждой серии были одинаковыми. Анализ показателей воды проводился в лаборатории ОСВ площадки «Кирпичная» г. Пензы. В соответствии с рекомендациями В.Л. Драгинского [3] эффективность действия коагулянта прежде всего оценивалась по мутности, цветности, перманганатной окисляемости и остаточному алюминию в очищенной воде. Кроме вышеуказанных показателей определялись также pH и щелочность воды.

Пробное коагулирование проводилось при поддержании температуры воды, соответствующей температуре воды водоисточника.

На первом этапе исследований (ноябрь) проведено несколько серий экспериментов, целью которых являлось определение с использованием высокоградиентного перемешивания на лабораторной установке оптимальных режимов коагуляционной обработки части исходной воды, обес-

печивающих после смешения обработанной (1–2 %) и некоагулированной (98–99 %) воды наилучший эффект удаления примесей.

Мутность исходной воды находилась в пределах 5,3...6,0 мг / л, температура воды была равна 3...3,5 °С, ПО = 3,5...4,3 мгO₂ / л, цветность составляла 16 град., pH = 7,7...7,9, щелочность 2,4...2,5 ммоль / л.

Доза СА, принятая на ОСВ при данных показателях воды, составляла 15 мг / л, подщелачивание воды не проводилось, доза флокулянта $D_{\text{ПАА}} = 0,05 \text{ мг / л}$.

Предварительные эксперименты показали, что при обработке 1 % исходной воды на лабораторной установке коагулянтом и воздухом и ее последующем смешении с 99 % необработанной воды наиболее значимое снижение загрязнений в отстоянной воде и фильтрате наблюдалось при увеличении G от $2,5 \cdot 10^4$ до $4,8 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$. При дальнейшем увеличении G качество очистки воды улучшалось незначительно, поэтому все остальные эксперименты на лабораторной установке проходили при значениях $G = 4,8 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$.

Результаты одной из серий экспериментов первого этапа приведены на рис. 2. Анализ полученных данных показал, что обработка 1 % исходной воды по предлагаемому способу позволяет при дозе СА $D_k = 8 \text{ мг / л}$

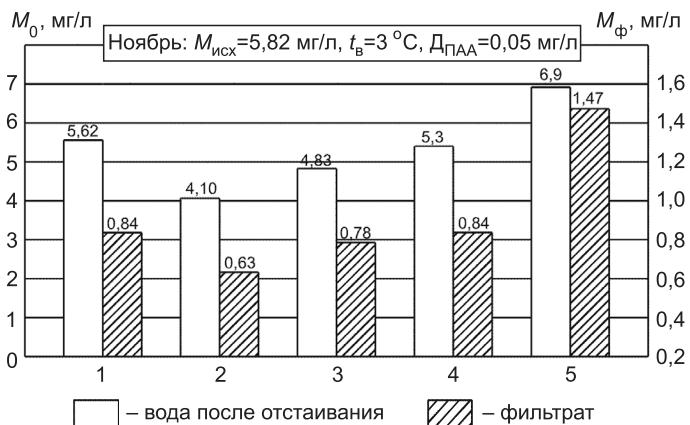


Рис. 2. Диаграммы остаточной мутности воды после отстаивания и фильтрования при реагентной обработке СА

1 — с дозой $D_k = 15 \text{ мг / л}$ (контроль); 2, 3, 4 и 5 — с перемешиванием 1 % исходной воды при $G = 4,8 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$ с дозами коагулянта, отнесенные к 1 л смеси обработанной и необработанной воды, равными соответственно 15, 10, 8 и 6 мг / л

достичь практически такого же эффекта очистки воды по мутности (диаграмма 4), как в контрольной пробе (диаграмма 1). Увеличение количества воды, обрабатываемой на лабораторной установке, от 1 до 2 % позволило улучшить эффект очистки воды примерно на 5 %. Значение pH фильтрата во всех сериях экспериментов было в пределах нормативных требований (pH = 7,1...7,2) [1].

Второй этап исследований проводился во время паводка (апрель). Мутность исходной воды изменялась от 72 до 82 мг / л, температура воды была равна 2,5...3,0 °С, ПО = 8,5...10,3 мгO₂ / л, цветность составляла 24 град., величина pH изменялась в пределах от 7,6 до 7,7, щелочность — от 1,1 до 1,7 ммоль / л, концентрация алюминия была в пределах 0,04...0,06 мг / л.

Доза СА, принятая на ОСВ при данных показателях воды, составляла 90 мг / л, подщелачивание воды не производилось, доза флокулянта

$D_{PAA} = 0,15$ мг/л. Анализ результатов экспериментальных исследований, представленных на рис. 3 и 4, показал, что реагентная обработка воды по предлагаемому способу позволяет при $D_k = 55$ мг/л достичь практически такого же снижения мутности фильтрата ($M_\phi = 0,95$ мг/л, диаграмма 4, рис. 3), как и обработка воды по стандартному методу при $D_k = 90$ мг/л ($M_\phi = 0,97$ мг/л, диаграмма 1, рис. 3). Цветность фильтрата при обработке воды по предлагаемому способу составляла 12 град.,

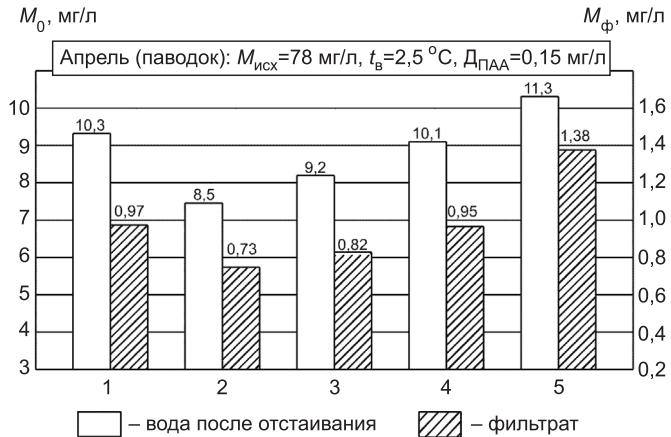


Рис. 3. Диаграммы остаточной мутности воды после отстаивания и фильтрования при реагентной обработке СА

1 — с дозой $D_k = 90$ мг/л (контроль); 2, 3, 4 и 5 — с перемешиванием 1 % исходной воды при $G = 4,8 \cdot 10^4$ с⁻¹ с дозами коагуланта, отнесенными к 1 л смеси обработанной и необработанной воды, равными соответственно 90, 70, 55 и 45 мг/л

при стандартной обработке воды — 11 град. (значение ПДК для цветности водопроводной воды равно 20 град. [1]), значение pH фильтрата во всех случаях было не менее 6,8. Кроме того, обработка воды по предлагаемому способу при $D_k = 55$ мг/л позволила значительно снизить остаточную концентрацию алюминия в фильтрате ($Al_\phi^{3+} = 0,24$ мг/л, диаграмма 4, рис. 4) по сравнению с традиционным методом обработки воды ($Al_\phi^{3+} = 0,48$ мг/л, диаграмма 1, рис. 4), при котором, как уже отмечалось, имеет место реальная опасность превышения ПДК по остаточному алюминию (0,5 мг/л), установленному СанПиН [1].

Как видно из сравнения диаграмм 1 и 4 на рис. 4, использование предлагаемого способа при пониженных (до 40 %) дозах СА позволило уменьшить перманганатную окисляемость фильтрата, ПДК которой в водопроводной воде составляет 5 мг O_2 /л [1].

Эксперименты, проведенные в летний период (июнь–июль), также подтвердили эффективность предлагаемого способа концентрированного коагулирования, обеспечивающего экономию СА в среднем до 40–45 % при таком же или несколько лучшем эффекте очистки воды по основным показателям по сравнению с традиционным методом реагентной обработки.

Анализ технико-экономической эффективности по эксплуатационным затратам показал, что при внедрении предложенной технологии обработки воды на одном блоке ОСВ площадки «Кирпичная» г. Пензы производительностью 100 тыс. м³/сут будет необходима установка повысительного насоса производительностью 80 м³/ч (около 2 % от производительности станции) и напором до 40 м, а также компрессора производительностью 8 м³/ч с давлением до $7 \cdot 10^5$ Па. Суммарная потребляемая мощность этих агрега-

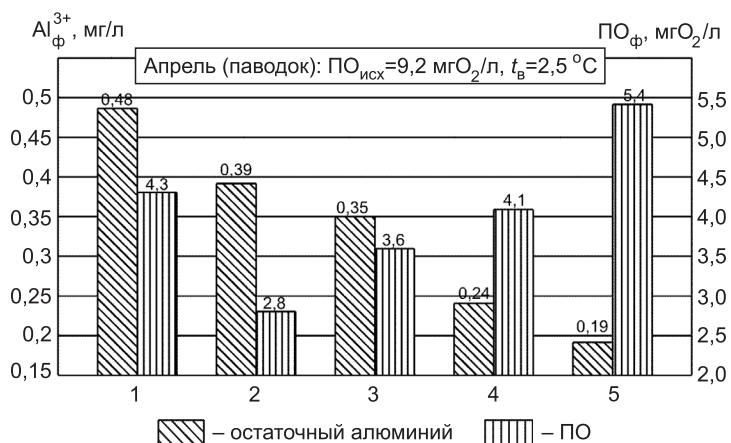


Рис. 4. Диаграммы остаточной концентрации алюминия и перманганатной окисляемости воды после фильтрования при реагентной обработке СА

1 — с дозой $D_k = 90 \text{ мг/л}$ (контроль); 2, 3, 4 и 5 — с перемешиванием 1 % исходной воды при $G = 4,8 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$ с дозами коагулянта, отнесенными к 1 л смеси обработанной и необработанной воды, равными соответственно 90, 70, 55 и 45 мг/л

тов составит 17 кВт, а суточное потребление энергии — 408 кВт · ч. При стоимости электроэнергии 3,08 руб./кВт · ч (в ценах 2010 г. с НДС) затраты на электроэнергию составят 1257 руб./сут.

Среднесуточный (за год) расход коагулянта СА на ОСВ площадки «Кирпичная» равен 2000 кг, что при его стоимости 5,5 руб./кг в денежном выражении составляет 11000 руб./сут. При внедрении предлагаемого способа реагентосберегающей обработки воды и сокращении расхода СА на 40 % ежесуточное уменьшение затрат на данный реагент будет равно 4400 руб., что в 3,5 раза превысит эксплуатационные расходы, связанные с установкой дополнительного насосного и компрессорного оборудования.

Выводы. Предлагаемый усовершенствованный способ концентрированного коагулирования с применением высокоградиентного перемешивания водовоздушной смеси позволяет достичь экономии коагулянта (серно-кислого алюминия) в среднем на 40–45 % и снизить эксплуатационные затраты по сравнению с технологией стандартного гидравлического перемешивания всего объема воды с коагулянтом при одинаковом эффекте очистки, особенно для условий низких температур воды. Остаточное содержание алюминия в очищенной водопроводной воде для условий паводка сокращается в 2 раза, что имеет важное значение для охраны здоровья населения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СанПиН 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. — М. : Минздрав России, 2002.
2. Бабенков, Е.Д. Очистка воды коагулянтами [Текст] / Е.Д. Бабенков. — М. : Недра, 1977.
3. Драгинский, В.А. Коагуляция в технологии очистки природных вод [Текст] / В.А. Драгинский, Л.П. Алексеева, С.В. Гетманцев. — М. : Науч. изд., 2005.

ГРИШИН Б.М., д-р техн. наук, проф.; E-mail: bgrishin@rambler.ru
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

БИКУНОВА М.В., канд. техн. наук, доц.

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
ТИТОВ Е.А., канд. техн. наук, доц.*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
ГОЛУБЕВ В.В., канд. техн. наук, доц.*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства
САФРОНОВ М.А., аспн.*

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Получено 26.04.10

Grishin B.M., doctor of technical sciences, professor, E-mail: bgrishin@rambler.ru, Penza State University Architectural and Construction, Russia

Bikunova M.V., candidate of technical sciences, assistant professor, Penza State University Architectural and Construction, Russia

Titov E.A., candidate of technical sciences, assistant professor, Penza State University Architectural and Construction, Russia

Golubev V.V., candidate of technical sciences, assistant professor, Penza State University Architectural and Construction, Russia

Safronov M.A., post-graduate student, Penza State University Architectural and Construction, Russia

INVESTIGATIONS OF THE REAGENT SAVING METHOD OF SURFACE SOURCE WATER COAGULATION TREATMENT

On the basis of analysis surface sources reagent treatment intensification existence water plants technologies the method of water coagulation with employment for high gradient agitation, which allows to reduce essentially coagulate sulphate aluminium rate, is suggested. The laboratory investigations data of river Sura storage water treatment with application for suggested method are demonstrated, the most rational regimes of coagulate and treated water mixing for high effect of pollutions removal providing is discovered.

Key words: nature water, water treatment, coagulation processes intensification, high gradient agitation.

REFERENCES

1. Sanitary norms and rules 2.1.4.1074-01. Drinking water. Hygienic requirements for water quality of drinking water centralize systems. Control of quality [Text]. — M. : Russia health services ministry, 2002.
 2. Babenkov, E.D. Coagulate water treatment [Text] / E.D. Babenkov. — M. : Bowels, 1977.
 3. Draginsky, V.A. Coagulation of nature water treatment technologies [Text] / V.A. Draginsky, L.P. Alekseeva, S.V. Getmantsev. — M. : Science edition, 2005.
-

УДК 628.16.067

В.А. ФОМИНЫХ

**КРИТЕРИАЛЬНАЯ МЕТОДИКА
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

На стадии технико-экономического обоснования проектных решений фильтровальных сооружений предложено экономические показатели принимать на объективной основе физикохимии и технологии процесса фильтрования. Базовым интегральным критерием, позволяющим осуществить взаимосвязь физикохимии, технологии и экономики процесса фильтрования, является начальная структурная прочность осадка σ_0 , образующегося в фильтрующей загрузке. Скорость фильтрования и грязеемкость загрузки принимаются как функции от σ_0 .

Ключевые слова: методика, фильтрование, критерий, эффективность.

Существующие методы технико-экономической оценки и сравнения вариантов проектных решений фильтровальных сооружений основаны на формальном рассмотрении показателей тех или иных технологических процессов и не связывают эти показатели с физико-химической сущностью технологии фильтрования, от которой зависит эффективность работы фильтра, а следовательно, и обобщенные технико-экономические показатели фильтровальных сооружений (станций).

Причиной такого формального подхода к сравнению вариантов следует считать недостаточное в настоящее время понимание необходимости более четко отражать взаимосвязь эффективности экономической с эффективностью технологической, в результате те отдельные базовые технологические параметры, представляющие основу сравнения, зачастую не имеют соответствующего обоснования по технологии фильтрования и, как следствие, возможности объективной оценки, что, как уже отмечалось, превращает технико-экономический расчет в формальное сопоставление стандартного набора локальных смет. Оставим в стороне вопрос, кто и как обычно проводит технико-экономическое сравнение вариантов и, принимая это сравнение, рассматривает (скорее, не рассматривает вообще) физико-химическую сущность процессов и технологическую эффективность фильтровальных сооружений (аппаратов).

В определенной степени существующее состояние дел можно объяснить сложностью и многофакторностью технологии фильтрования. Так, эффективность работы фильтра зависит от конструкции фильтрующей загрузки (фильтрующий материал; геометрическая структура фильтрующего слоя, определяемая межзерновой пористостью m_0 и коэффициентом формы зерна α ; диаметр зерен d по слоям загрузки; высота загрузки общая и по каждому фильтрующему слою; поддерживающие слои), структурной прочности осадка, технологических особенностей процесса фильтрования (тип реагента, доза и место ввода реагента, комбинирование реагентов и т.п.), скорости фильтрования, а также ряда других факторов. Все это требует разработки принципов взаимосвязи технологии фильтрования с конструкцией фильтра-аппарата и базовыми показателями

ми работы фильтровальных сооружений: удельной производительностью, грязеемкостью, процентом расхода промывной воды и рядом других.

Таким образом, принимая, что экономическая эффективность должна определяться эффективностью технологической, следует ввести критерий технологической эффективности, позволяющий подойти с количественной характеристикой к выбранной технологии. Но применение критерия технологической эффективности возможно только в том случае, если процесс фильтрования оптимизирован, т.е. оптимизация взаимосвязана с критерием технологической эффективности, которая, в свою очередь, — с критерием физико-химических основ процесса фильтрования, и все это вместе, в виде взаимосвязанного комплекса, будет определять скорость фильтрования, удельную производительность фильтровальной станции и себестоимость очистки воды, что и позволит не только установить, но и обосновать соответствующие технико-экономические показатели.

Для решения указанных задач обычно рекомендуется проводить технологическое моделирование, но процесс физического технологического моделирования сам по себе трудоемкий, требует строгой научно обоснованной методики и определенной квалификации исследователя, затратен по времени и средствам и даже при добросовестном подходе, в определенной мере, субъективен.

Особенно эти трудности проявляются на начальной стадии разработки и обоснования проектных решений, поэтому автором предложено (ни в коей мере не ставя под сомнение возможности физического технологического моделирования) на стадии ТЭО при определении принципиальной конструкции фильтра и технологических параметров процесса фильтрования применять метод расчетного моделирования и разработать критериальную методику, позволяющую соответствующим расчетом обосновать эффективность работы проектируемых фильтровальных сооружений.

Краткое содержание и алгоритм методики.

1. Принимаются и с максимальным использованием физикохимии процессов фильтрования и конкретных условий обосновываются принципиальные технологии фильтрования, конструкция фильтра, фильтрующий материал.

2. Для принятой технологии фильтрования ориентировочно, но достаточно точно задается начальная прочность осадка σ_0 в фильтрующей загрузке и на основании специально построенного графика соответствующая ей скорость фильтрования V .

3. Разрабатывается принципиальная конструкция фильтрующей загрузки: принимается (ориентировочно, исходя из существующих рекомендаций и опыта инженерной практики) средний диаметр зерен d_{cp} по всей загрузке и по ее i слоям d_i ($i = 1, 2, 3$). Расчетом [1] определяется общая высота загрузки, и эта высота разбивается на три равных i слоя, имеющих соответствующие значения крупности зерен d_i (d_1, d_2, d_3).

4. Определяются [2] для каждого i -го слоя $\Delta\sigma_i, \tau_{pri}, b_i, m_{pri}$ и Δm_{pri} .

5. Производится пошаговое увеличение значений V, σ_0 , среднего диаметра загрузки, и расчет производится снова в соответствии с п. 4.

Данные серии расчетов позволяют путем сравнения выбрать оптимальные параметры конструкции фильтрующей загрузки в соответствии с оптимальными условиями процесса фильтрования, которые могут быть определены и выражены критериально следующим образом: при обеспечении максимально возможной прочности осадка получить максимальную скорость фильтрования на основе функции $V = f(\sigma)$ и максимальную грязеемкость в относительных единицах объемной грязеемкости Δm_{pr} .

Скорость фильтрования определяет при заданной производительности габариты фильтровальной станции, т.е. капитальные затраты, грязе-

емкость фильтрующей загрузки — период фильтроцикла и соответственно расход воды на промывку, т.е. эксплуатационные затраты.

Таким образом, на основе комплекса представленных критериев можно на стадии ТЭО расчетным моделированием определить технологическую эффективность рассматриваемых вариантов, объективно оценить и выбрать наиболее эффективный вариант, после чего непосредственно перейти к конкретным расчетам технико-экономических показателей технологически обоснованного варианта.

Вывод. В основе ТЭО проектных решений фильтровальных станций лежит базовый интегральный критерий физикохимии и технологии фильтрования — максимальная начальная структурная прочность осадка σ_0 и обеспечивающие ее условия. Этот критерий σ_0 позволяет рассчитать определяющие технологические критерии — максимальные значения скорости фильтрования и относительной грязеемкости фильтрующей загрузки, тем самым установив критериальную взаимосвязь между физикохимией, технологией и экономикой процессов фильтрования. А эту связь, в свою очередь, можно представить как собственный критерий объективного подхода к оценке вариантов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фоминых, В.А. Расчет зернистых водоочистных фильтров в технологии подготовки питьевой воды [Текст] / В.А. Фоминых // Изв. вузов. Строительство. — 2002. — № 1–2. — С. 88–92.
2. Фоминых, В.А. Технологическое моделирование процесса очистки воды фильтрованием с учетом влияния высоты слоя фильтрующей загрузки [Текст] / В.А. Фоминых // Изв. вузов. Строительство. — 2002. — № 7. — С. 82–85.

ФОМИНЫХ В.А., канд. техн. наук, доц.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)

Получено 20.01.10

Fominykh V.A., candidate of technical sciences, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

CRITERIAL METHODS OF TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC ESTIMATION FOR EFFICIENCY OF WATER FILTERING PLANTS OPERATION

At a stage of technological and economic estimation for design decisions of water filtering plants it is offered to accept economic indicators on an objective basis of physic-chemistry and technology of the process of water filtration. The base integrated criterion, allowing to carry out interrelation of physic-chemistry, technologies and economy of water filtering process, is initial structural durability of the deposit, formed in filtering loading, σ_0 . Rate of filtration and dirt-holding capacity of loading are accepted as function from σ_0 that gives the chance to use calculating methods to receive these basic technological parameters, to define technological efficiency criterionally and to prove economic efficiency of water filtering plants.

Key words: methods, water filtration plant, criteria, efficiency.

REFERENCES

1. Fominykh, V.A. Design of Granular Water Purifying Filters in the Technology of Drinking Water Preparation [Text] / V.A. Fominykh // 2002. — N 1–2. — P. 88–92.
2. Fominykh, V.A. Technological Simulation of Water Purification Process by Filtration under the Influence of Filtering Feed's Layer Height [Text] / V.A. Fominykh // 2002.— N 7. —P. 82–85.

УДК 628.337.54

Т.И. ХАЛТУРИНА, О.В. ЧУРБАКОВА, Т.А. КУРИЛИНА

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ГАЛЬВАНОКОАГУЛЯЦИОННОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

Исследована возможность интенсификации процесса гальванокоагуляционной очистки медьсодержащих сточных вод при наложении асимметричного тока.

Ключевые слова: интенсификация, гальванокоагуляция, асимметричный ток, депас-сивация, медьсодержащие сточные воды.

В условиях всевозрастающего антропогенного воздействия актуальны задачи, связанные с водоотведением: очистка сточных вод до предельно допустимых концентраций; рациональное водопотребление и организация водооборота; регенерация технологических растворов и их повторное использование; утилизация ценных компонентов из сточных вод и отработанных технологических растворов. Соединения меди, выносимые сточными водами современного производства, относятся к группе высокотоксичных компонентов, обладающих широким спектром токсического действия с многообразными проявлениями.

Как показывает анализ литературных источников и патентной документации, вопросам электрохимической очистки сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов, посвящены многочисленные работы, однако недостаточно освещены вопросы интенсификации гальванокоагуляционного процесса на очистных сооружениях в различных отраслях промышленности и конструкции устройств для обеспечения эффективной обработки.

В ходе гальванокоагуляционного процесса при определенных условиях наступает пассивное состояние. Пассивность металлов объясняется образованием на поверхности анода фазовой, окисной и гидроокисной пленок, отделяющих металл от окружающей среды, или образованием монослоя, который блокирует активные центры растворения.

Цель работы — разработка способа интенсификации гальванокоагуляционной очистки медьсодержащих сточных вод с учетом региональных условий.

Из [1] известно, что активирующее действие на металл оказывает анионный состав электролита. По своей активирующей способности анионы располагаются в следующий ряд: $\text{Cl}^- > \text{Br}^- > \text{J}^- > \text{ClO}_4^- > \text{OH}^- > \text{SO}_4^{2-}$. Таким образом, вводя раствор поваренной соли, можно значительно увеличить время работы анода до пассивации. Механизм активирующего действия ионов Cl^- обусловлен их небольшими геометрическими размерами и легкостью проникновения через пассивирующую пленку, в результате чего она разрушается. Так как в обрабатываемой сточной воде содержится SO_4^{2-} , а известно, что повышение их концентрации по отношению к концентрации хлоридов приводит к угнетению активирующего действия Cl^- -ионов, то применять NaCl нерационально. Кроме того, учитывая качество исходной воды и требования к качеству очищенной воды

для возврата ее в гальваническое производство (ГОСТ 9.314–90), нецелесообразно увеличивать солесодержание при добавлении раствора NaCl.

Для предотвращения пассивации железной стружки, образующей гальванопару, авторами [2] предлагается периодическое взрыхление наполнителя в гальванокоагуляторах пульсационного типа. Недостаточная эффективность данного способа очистки заключается в постепенной пассивации поверхности железной стружки между моментами встряхивания и образовании отдельных струй потока очищаемых сточных вод за счет создания избыточного давления воздуха в пульсационной камере и разрыхления наполнителя. Авторами [3, 4] предлагается интенсифицировать гальванокоагуляционные процессы путем наложения внешнего электрического поля.

Исследования по интенсификации процесса очистки при наложении внешнего электрического поля проводились на кафедре «Водоснабжение и водоотведение» ИГУиРЭ Сибирского федерального университета в лабораторных условиях на гальванокоагуляционном модуле объемом 0,6 л с гальванопарой: железо (Fe) — углеродминеральный сорбент (СГН) в соотношении 4:1, конструкция которого показана в работе¹. Масса железной стружки 0,9 кг; масса углеродминерального сорбента 0,22 кг; габаритные размеры: высота корпуса 0,18 м, диаметр корпуса 0,09 м; высота загрузки 0,16 м; удельная поверхность стружки 6,38 м²/кг; удельная поверхность углеродминерального сорбента (СГН) 7,5...12,0 м²/кг; насыпной вес для железной стружки $d > 4$ мм $\gamma_{ст} = 850$ кг/м³; насыпной вес для СГН фракции 2,8...5 мм $\gamma_{СГН} = 443$ кг/м³; интенсивность подачи воздуха в гальванокоагулятор составляла 10 л/с·м². Модель сточной жидкости была аналогичной натурным стокам при использовании CuSO₄. Характеристика обезвреживаемых сточных вод: температура — 20 °C; $C_{исх}^{в.в.}$ — до 50 мг/дм³; $C_{исх}^{Cu^{2+}}$ — до 100 мг/дм³; $C_{исх}^{Cl^-}$ — до 70 мг/дм³; $C_{исх}^{SO_4^{2-}}$ — до 300 мг/дм³.

Данные исследования по наложению на процесс гальванокоагуляции постоянного тока проводились при силе тока $J = 0,5$ А, напряжении $U = 10$ В, плотности тока $i = 2,5$ мА/см² и времени контакта $t_{конт} = 3,5$ мин. Полученные результаты по изучению эффективности непрерывной работы гальванокоагулятора приведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, при воздействии на процесс гальванокоагуляции постоянного электрического тока, подаваемого от внешнего источника при длительной обработке, наблюдается некоторая нестабильность процесса очистки из-за возможной пассивации железного скрата.

Таблица 1

T , ч	1	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0
$C_{ост}^{Cu^{2+}}$, мг/дм ³	0,029	0,026	0,032	0,032	0,030	0,036	0,040	0,041	0,050	0,050	0,052

Известен способ обработки сточных вод асимметричным переменным током, который позволяет проводить процесс в стабильном режиме². Асимметричный переменный ток — импульсный ток специаль-

¹ Халтурин Т.И., Курилина Т.А. Исследование технологического процесса гальванокоагуляции медьсодержащих сточных вод // Изв. вузов. Строительство. 2008. № 9. С. 70–75.

² А.с. 981240 СССР, С О2 F1/46. Способ очистки сточных вод от нефтепродуктов / Т.И. Халтурин, Т.Я. Пазенко, Г.М. Зограф, Л.В. Страфейчук (СССР); 2895497/23-26; Заявл. 18.01.80; Опубл. 15.12.82. Бюл. № 46.

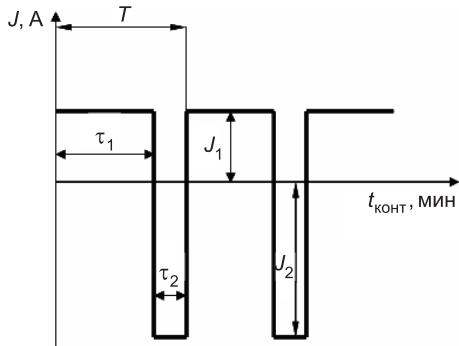


Рис. 1. Форма асимметричного тока

J_1 — амплитуда прямого тока, А; J_2 — то же, обратного тока, А; τ_1 — длительность прямого тока, с; τ_2 — то же, обратного тока, с; T — период, с; t — время контакта, мин

ной формы с различными величинами амплитуд и длительностей положительных и отрицательных полярностей (рис. 1).

В настоящей работе изучалось влияние наложения асимметричного тока на эффективность гальванокоагуляционной очистки с использованием в качестве загрузки Fe — углеродминеральный сорбент (СГН) в диапазоне: плотность прямого тока (положительного импульса) $i_{\text{пр}} = 2,8 \dots 7 \text{ mA/cm}^2$; плотность обратного тока (отрицательного импульса) $i_{\text{обр}} = 8 \dots 14 \text{ mA/cm}^2$, при этом длительность положительного импульса составляла $\tau_1 = 50 \dots 100 \text{ с}$, а длительность отрицательного импульса $\tau_2 = 5 \dots 10 \text{ с}$. Известно [1], что для железа увеличение скорости растворения наблюдается в пределах плотности тока $i = 1 \dots 10 \text{ mA/cm}^2$.

Для сравнения влияния формы тока (постоянного и асимметричного) на эффективность растворения железного скрата в процессе гальванокоагуляции были проведены исследования. Данные эксперимента приведены в табл. 2, где № 1 — без наложения внешнего электрического поля; № 2 — при наложении внешнего электрического поля при обработке постоянным током; № 3 — при обработке асимметричным переменным током.

Таблица 2

№ опыта	pH _{исх}	$C_{\text{исх}}^{\text{Cu}^{2+}}$, мг/дм ³	T , мин	$C_{\text{ост}}^{\text{Cu}^{2+}}$, мг/дм ³	$C^{\text{Fe общ}}$, мг/дм ³	$i_{\text{пр}}$, mA/cm^2	$i_{\text{обр}}$, mA/cm^2	τ_1 , с	τ_2 , с	\varnothing , %
1	2,3	100	3,30	0,51	28,6	—	—	—	—	99,49
2	2,3	100	3,30	0,38	78,16	7,0	—	—	—	99,62
3	2,3	100	3,30	0,03	97,19	7,0	14,0	60	10	99,97

По данным табл. 2 построена гистограмма, приведенная на рис. 2, из которой видно, что при обработке асимметричным переменным током эффективность растворения железной стружки значительно возрастает из-за депассивации ее поверхности за счет выделяющегося водорода при асимметричной переполюсовке.

Результаты экспериментальных исследований, полученных на гальванокоагуляционном модуле при сравнении вариантов очистки с наложением асимметричного тока и без наложения, представлены в табл. 3 и 4.

Установлено, что при использовании гальванопары Fe — СГН и наложении асимметричного тока достигается высокий эффект очистки (99,8 %)

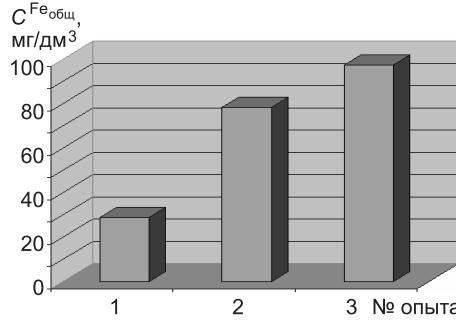


Рис. 2. Сравнение вариантов обработки сточных вод по концентрации общего железа

1 — гальванокоагуляционная обработка без наложения электрического поля; 2 — то же, с наложением постоянного тока; 3 — то же, с наложением асимметричного тока

Таблица 3

Результаты исследования гальванокоагуляционного обезвреживания с использованием гальванопары Fe – СГН и наложением асимметричного тока

№ опыта	$C_{\text{исх}}^{\text{Cu}^{2+}}$, мг/дм ³	pH _{исх} /pH _{ост}	$t_{\text{обр}}$, мин	$C_{\text{ост}}^{\text{Cu}^{2+}}$, мг/дм ³	W , кВт·ч/м ³
1	100	2,3/5,8	7	0,0037	1,03
2	100	2,3/6,0	5	0,0055	1,52
3	100	2,3/6,6	3	0,0130	0,90
4	100	2,3/5,3	3	0,0092	0,82

Таблица 4

Результаты исследования процесса гальванокоагуляционной очистки при использовании гальванопары Fe – СГН без наложения асимметричного тока

№ опыта	$C_{\text{исх}}^{\text{Cu}^{2+}}$, мг/дм ³	pH _{исх} /pH _{ост}	$t_{\text{обр}}$, мин	$C_{\text{ост}}^{\text{Cu}^{2+}}$, мг/дм ³
1	100	2,3/6,1	13,44	0,0001
2	100	2,3/6,0	12,00	0,0003
3	100	2,3/5,5	10,00	0,0069
4	100	2,3/5,4	8,00	0,0044
5	100	2,3/6,2	4,56	0,0091

меди содержащих сточных вод при времени контакта $t_{\text{конт}} = 3,5$ мин, что позволяет значительно уменьшить габариты гальванокоагуляционного модуля. Данные по изучению влияния продолжительности непрерывной работы гальванокоагулятора на эффект очистки представлены в табл. 5. Условия проведения эксперимента: $C_{\text{исх}}^{\text{Cu}^{2+}} = 100$ мг/дм³; pH = 2,3; $t_{\text{конт}} = 3,5$ мин; режимы: $i_{\text{пр}} = 2,8$ мА/см², $i_{\text{обр}} = 8,4$ мА/см²; $\tau_1 = 50$ с, $\tau_2 = 10$ с.

Таблица 5

T , ч	1	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0	17,5	20,0	22,5	25,0
$C_{\text{ост}}^{\text{Cu}^{2+}}$, мг/дм ³	0,035	0,012	0,012	0,028	0,030	0,046	0,050	0,049	0,053	0,039	0,054

Как видно из табл. 5, процесс гальванокоагуляции при использовании загрузки Fe – СГН и наложении асимметричного тока стабилен при высоком эффекте очистки. Это объясняется механизмом действия асимметричного переменного тока, при котором амплитуда и длительность импульсов отрицательной полярности должны быть, с одной стороны, достаточно большими, чтобы обеспечить равномерный эффективный электрохимический процесс, с другой — не должны превышать предельного значения, чтобы не достичь величины потенциала выделения кислорода. Амплитуда импульса отрицательной полярности должна быть в 1,5–2 раза больше амплитуды импульса положительной полярности, чтобы обеспечить эффективное разрушение пассивной пленки, а длительность отрицательного импульса по сравнению с длительностью импульса положительной полярности должна быть меньше в 5–6 раз.

Выводы. Установлено, что наложение асимметричного переменного тока позволяет стабилизировать процесс очистки и повысить эффективность гальванокоагуляционного обезвреживания меди содержащих сточных вод за счет увеличения выхода по Fe_{общ}.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Яковлев, С.В. Технология электрохимической очистки воды [Текст] / С.В. Яковлев, И.Г. Краснобородко, В.И. Рогов. — Л. : Стройиздат, 1987.
- Пат. 2111175 РФ, 6CO2F1/463. Устройство для очистки сточных вод [Текст] / Р.М. Малышев, А.Н. Золотников, В.Е. Бомштейн; 96124234/25; Заявл. 25.12.96 ; Опубл. 20.05.98.
- Пат. 2057080 РФ, 6 CO2 F1/46. Способ очистки сточных вод и устройство для его осуществления [Текст] / А.А. Рязанцев, А.А. Батоева ; № 93032344/26 ; Заявл. 18.06.93 ; Опубл. 27.03.96.

4. Зайцев, Е.Д. Интенсификация очистки сточных вод промышленных предприятий методом гальванокоагуляции (аналитический обзор) [Текст] / Е.Д. Зайцев, А.П. Абраменко. — Семипалатинск, 1994.

ХАЛТУРИНА Т.И., канд. хим. наук, проф.

Институт градостроительства, управления и региональной экономики ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск

ЧУРБАКОВА О.В., канд. техн. наук, доц.

Политехнический институт ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск

КУРИЛИНА Т.А., инж.

Институт градостроительства, управления и региональной экономики ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск

Получено после доработки 06.04.10

Khalturina T.I., candidate of chemical sciences, professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Churbakova O.V., candidate of technical sciences, assistant professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Kurilina T.A., engineering, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

INTENSIFICATION GALVANOKOAGULYATSION COPPER-CONTAINING NEUTRALIZATION SEWAGE

The possibility of intensifying the process galvanokoagulyatsionnoy wastewatertion of copper-containing wastewater with the imposition of asymmetric current.

Key words: intensification, galvanokoagulyatsiya, asymmetric current depassivatsiya, copper-containing waste water.

REFERENCES

1. Yakovlev, S.V. Technology of electrochemical water treatment [Text] / S.V. Yakovlev, I.G. Krasnobarodko, V.I. Rogov. — L. : Stroyizdat, 1987.
2. Patent 2111175 RF, 6CO2F1/463. Device for wastewater treatment [Text] / R.M. Malyshev, A.N. Zolotnikov, V.E. Bomshteyn ; 96124232/25 ; appl. 25.12.96 ; publ. 20.05.98.
3. Patent 2057080 RF, 6 CO2 F1/46. Method of wastewater treatment and device for its implementation [Text] / A.A. Ryazantsev, A.A. Batoeva ; № 93032344/26 ; appl. 18.06.93 ; publ. 27.03.96.
4. Zaitsev, E.D. The intensification of wastewater treatment industry by galvanokoagulyatsii (analytical review) [Text] / E.D. Zaitsev, A.P. Abramenko. — Semipalatinsk, 1994.

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ

УДК 625.852:625.084

А.М. ЗАВЬЯЛОВ, А.А. ТЕРЕЩЕНКО, М.А. ЗАВЬЯЛОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ УКАТКИ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ КАТКАМИ СТАТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Описан алгоритм определения оптимальных значений скорости движения дорожного катка при укатке асфальтобетонной смеси. Осуществлен выбор целевой функции и критерия оптимизации процесса укатки. Приведены аналитические зависимости, позволяющие оценить влияние различных параметров на скорость движения дорожного катка и качество уплотнения смеси. Рассмотрен пример работы компьютерной программы для каждого прохода катка при уплотнении. Результаты представлены в виде рабочего окна программы.

Ключевые слова: оптимальные режимы укатки, энергоемкость процесса уплотнения, асфальтобетонные смеси, рациональные технологии.

Вопросы автоматизации проектирования и выбора оптимальных режимов рабочих процессов дорожных машин с целью повышения производительности, качества продукции, сокращения энергозатрат и времени производства работ являются актуальными.

Важная задача автоматизации проектирования оптимальных режимов укатки асфальтобетонной смеси — выбор значений таких параметров, как скорость движения катка, давление на смесь, температура и коэффициент внутреннего трения смеси, доставляющих экстремум целевой функции. В качестве целевой функции выберем величину удельной энергоемкости процесса укатки асфальтобетонной смеси дорожными катками статического действия:

$$\mathcal{E}_{\text{уд}} = \mathcal{E}/\Pi, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{\text{уд}}$, \mathcal{E} — удельная энергоемкость и энергоемкость процесса укатки соответственно;

Π — производительность укатки асфальтобетонной смеси.

В нашем случае оптимальные значения параметров находим из условия (1), т.е. минимума энергоемкости:

$$\mathcal{E}_{\text{уд}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

назовем эти значения энергоэффективными.

Рассматривая энергоемкость процесса как изменение кинетической энергии движущегося катка, выражение (1) для i -го прохода можно записать в виде

$$\Delta\mathcal{E}_{\text{уд}i} = \frac{m_i v_i}{2\Delta\varepsilon_i B_i}, \quad (3)$$

так как

$$\Delta \Theta_i = \frac{m_i v_i^2}{2}, \quad \Pi_i = \frac{\Delta \varepsilon_i B_i L_i}{t_i},$$

$$\frac{L_i}{t_i} = v_i \Rightarrow \Delta \Theta_{y\ddot{d}_i} = \frac{\Theta_i}{\Pi_i} = \frac{m_i v_i^2}{2 \Delta \varepsilon_i B_i v_i} = \frac{m_i v_i}{2 \Delta \varepsilon_i B_i},$$

где m_i , v_i — масса и скорость катка;

$\Delta \varepsilon_i$ — абсолютная деформация;

t_i — время;

L_i , B_i — длина и ширина укатки соответственно.

Аппроксимируем компрессионную зависимость между напряжением и деформацией упруговязкопластического тела в виде

$$\Delta \varepsilon_i = \alpha_i \tau_i^2, \quad (4)$$

где τ_i — давление на асфальтобетонную смесь;

α_i — корреляционный коэффициент, м/Па².

Представляя τ_i согласно [2] как

$$\tau_i = \frac{m_i (gdu_i + 2v_i^2)}{B_i (du_i)^2}, \quad (5)$$

где du_i — длина дуги контакта вальца катка с асфальтобетонной смесью; g — ускорение свободного падения, получаем формулу (3) в виде

$$\Delta \Theta_{y\ddot{d}_i} = \frac{B_i (du_i)^4 v_i}{2 \alpha_i m_i (gdu_i + 2v_i^2)^2}. \quad (6)$$

Длину дуги контакта вальца катка с уплотняемой асфальтобетонной смесью определим следующим выражением [2]:

$$du_i = 2R_i \arccos(1 - \Delta \varepsilon / R) = 2R_i \arccos(1 - R_i^{-1} h B_i (1 - b_i)), \quad (7)$$

здесь R_i — радиус вальца дорожного катка;

h — начальная толщина уплотняемого слоя;

$b_i = \rho_{(i-1)} / \rho_i$ — показатель степени уплотняемости асфальтобетонной смеси;

$\rho_{(i-1)}$, ρ_i — значения плотности асфальтобетонной смеси после $(i-1)$ -го и i -го проходов соответственно.

Реализуя условие (2) для целевой функции, представленной формулами (6) и (7), получим набор энергоэффективных значений величин для серии проходов катка (каждой реализации):

$$v_i^3, R_i^3, m_i^3, B_i^3 \text{ и } b_i^3,$$

где $i = 1, 2, \dots, n$, доставляющий минимум целевой функции $\Theta_{y\ddot{d}_i}$.

При этом необходимо учитывать ограничение, наложенное на значения величин, входящих в целевую функцию. Ограничение заключается в том, что время контакта вальца с уплотняемой асфальтобетонной смесью должно быть не меньше периода ее релаксации. Это условие в свою очередь ограничивает сверху величину скорости катка, предельные значения которой находятся согласно алгоритму [2].

Проведенный регрессионный анализ позволил получить зависимость коэффициента вязкости битума от его температуры:

$$\gamma = (0,0073T - 0,2776)^2, \quad (8)$$

коэффициент детерминации близок к 1 и равен 0,92; он показывает, что статистическая связь между наблюдаемыми переменными достаточно высокая [3].

Если принять начальное время отсчета i -й реализации равным нулю, то искомые значения скорости определяются из уравнения

$$v_i^2 + p v_i + q = 0, \quad (9)$$

где $p = -\operatorname{tg} \varphi_i [D \gamma_i du_i]^{-1}$; $q = C / D$,

$$C = m_i g [\alpha_i B_i du_i (1 - b_i)]^{-1}; \quad D = 2m_i [\alpha_i B_i (du_i)^2 (1 - b_i)]^{-1};$$

φ_i — угол внутреннего трения; γ_i — коэффициент вязкости.

Уравнение (9) имеет решения только при условии

$$\operatorname{tg}^2 \varphi_i \geq 4CD\gamma_i^2(du_i)^2. \quad (10)$$

Эти решения назовем рациональными значениями скорости движения катка при укатке асфальтобетонной смеси v_{p_i} .

Введем понятие интегрального оптимума. Под оптимальными значениями указанных величин v_i , R_i , m_i , B_i и b_i будем понимать значения, найденные из условий (2), (9) и (10), причем значения скорости v_i^{opt} определяются согласно следующему критериальному алгоритму:

- 1) если $v_{p_i} < v_i^3$, то $v_i^{\text{opt}} = v_{p_i}$;
- 2) если $v_{p_i} > v_i^3$, то $v_i^{\text{opt}} = v_i^3$;
- 3) если $v_{p_i} = v_i^3$, то $v_i^{\text{opt}} = v_{p_i} = v_i^3$,

здесь v_i^3 — значения скорости, полученные при реализации условия 2;

v_i^{opt} — оптимальное значение скорости для i -го прохода катка.

Метод реализации условия (2) осуществляется компьютерной программой, с помощью которой находятся значения, доставляющие минимум целевой функции $\mathcal{E}_{y_{d_i}}$.

Таким образом, алгоритм определения оптимальной скорости движения дорожного катка для каждой серии его проходов при уплотнении асфальтобетонной смеси состоит в следующем:

- 1) вычисляется рациональная скорость катка из (9), учитывающего период релаксации асфальтобетонной смеси;
- 2) находится энергоэффективное значение скорости из (6), доставляющее минимум целевой функции $\mathcal{E}_{y_{d_i}}$;
- 3) за оптимальную скорость принимается наименьшее ее значение, которое удовлетворяет обоим вышеперечисленным условиям согласно критериальному алгоритму (11).

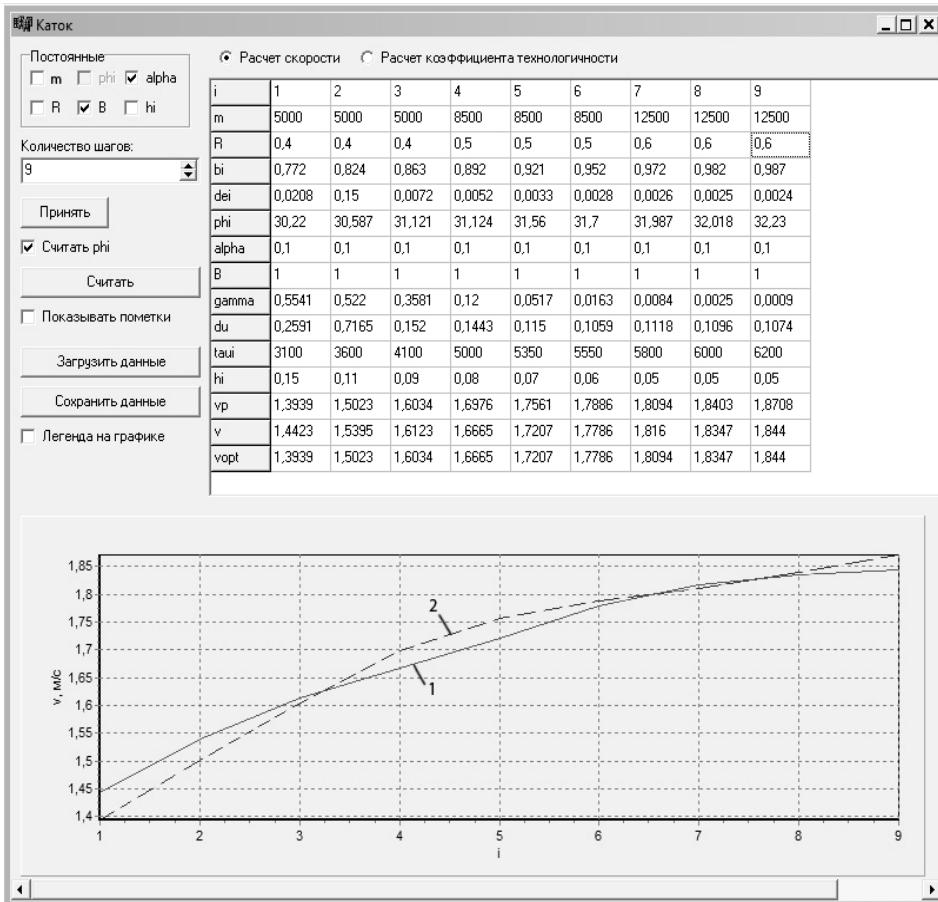
Подставляя оптимальные значения в целевую функцию при каждой реализации, будем получать ее минимальные значения. Можно подсчитать среднее минимальное значение удельной энергоемкости процесса укатки:

$$\mathcal{E}_{y_d}^{\text{cp}} = \frac{1}{n} \sum_n \mathcal{E}_{y_{d_i}}. \quad (12)$$

Рассмотрим принцип работы программы для ЭВМ, составленной на основе полученного алгоритма вычисления оптимальных значений скорости движения дорожного катка при уплотнении смеси. Расчеты произведем на 1 м ширины вальца катка, т.е. $B_i = 1$. Значения величин, необходимые для расчета оптимальной скорости движения катка, из-

вестны и отображаются в соответствующих полях таблицы программы (рисунок).

В левой части окна программы имеется область постоянных значений, позволяющая отметить величины, остающиеся неизменными на последующих шагах. После заполнения исходных данных необходимо отметить «Считать phi», затем последовательно нажать кнопки «Принять» и «Считать». Программа произведет расчет и выдаст данные в форме, представленной на рисунке.



Результат расчетов и график зависимости скорости движения дорожного катка от числа проходов i

$$1 - v^3; 2 - v_p$$

В табличной части окна программы для каждого прохода катка представлены расчетные значения угла внутреннего трения φ , длины дуги контактной зоны вальца с асфальтобетонной смесью du , а также в нижних трех строках — значения скоростей v_{pi} , найденные из квадратного уравнения (9), v_i^3 — из условия (2) и v_i^{opt} , вычисленные по критериально-му алгоритму (11). В графической части окна программы демонстрируются графики величин скоростей v^3 и v_p . Число проходов дорожного катка выбрано условно, после каждой трети проходов возрастает масса катка.

Полученные результаты вычислений можно сохранить в файл и из сохраненного файла данные загрузить в программу.

Анализ значений нижних строк табличной части программного окна и характера графика скоростей показывают, что критерию интегрального оптимума соответствует режим укатки асфальтобетонной смеси, опреде-

ляемый из условия реализации процесса ее релаксации — квадратного уравнения (9). Для средних и тяжелых катков оптимальный режим укатки отвечает условию минимизации удельной энергоемкости рассматриваемого процесса (2).

Вывод. При проектировании с позиций интегрального оптимума режимов укатки асфальтобетонной смеси катками статического действия установлена следующая закономерность:

- для легких катков оптимальный режим укатки отвечает условию реализации процесса релаксации асфальтобетонной смеси;
- для средних и тяжелых катков оптимальный режим укатки соответствует условию минимума удельной энергоемкости рассматриваемого процесса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Завьялов, А.М. Основы теории взаимодействия рабочих органов дорожно-строительных машин со средой [Текст]: Дис. ... д-ра техн. наук ; 05.05.04. — Омск, 1999. — 252 с.
2. Завьялов, М.А. Термодинамическая теория жизненного цикла дорожного асфальтобетонного покрытия [Текст] / М.А. Завьялов. — Омск: СибАДИ, 2007. — 283 с.
3. Гумурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] / В.Е. Гумурман. — М.: Высшая школа, 1998. — 479 с.

Завьялов А.М., д-р техн. наук, проф.

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск
Терещенко А.А., асп.

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск
Завьялов М.А., д-р техн. наук

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск

Получено после доработки 09.03.10

Zavyalov A.M., doctor of technical sciences, professor, Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI), Russia

Tereshchenko A.A., post-graduate student, Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI), Russia

Zavyalov M.A., doctor of technical sciences, Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI), Russia

THE COMPUTER-AIDED DESIGN OF OPTIMAL MODES OF ASPHALT MIX COMPACTION

In article the algorithm of definition of optimum road roller movement speed during asphalt mix compaction is described. The criterion function and optimization choice of compaction process is carried out. The analytical dependences are resulted; they are allowing estimating the influence of different parameters on compaction quality and speed of road rollers. Computer program examples for each pass of road roller during compaction are considered. Results are presented in the working window of the program.

Key words: optimum modes of compaction, power consumption of consolidation process, asphalt mixes, rational technologies.

REFERENCES

1. Zavyalov, A.M. Fundamentals of the theory of interaction between working parts of road construction machines and soil [Text]. — Omsk, 1999. — 252 p.
2. Zavyalov, M.A. Thermodynamic theory of asphalt pavement life cycle [Text] / M.A. Zavyalov. — Omsk : SibADI, 2007. — 283 p.
3. Gmurman, V.E. Probability theory and the mathematical statistics [Text] / V.E. Gmurman. — Moscow, 1998. — 479 p.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ

УДК 621.81

В.Ф. ЕГОРОВ

СНИЖЕНИЕ НЕРАВНОМЕРНОСТИ НАГРУЗОК ПОЗИЦИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ

Предложен обобщенный критерий для анализа неравномерности распределения нагрузок элементов конструкций, основанный на сопоставлении их эквивалентных и средних значений, что обеспечивает единообразие и универсальность проводимых оценок. Приведены значения критерия для выпуклых и вогнутых нагрузочных диаграмм. Разработаны методы выравнивания нагрузок механизмов позиционного действия при низких значениях момента инерции их подвижных масс.

Ключевые слова: неравномерность нагрузок элементов конструкций, критерий распределения нагрузок, выравнивание нагрузок.

Рост объемов производства, увеличение затрат материалов и энергоемкости производственных строительных машин и механизмов заставляют выбирать производственные технологии и характеристики основного оборудования не только по условию максимальной производительности, но и по соображениям их экономного использования. В настоящее время ведется непрерывный поиск и разработка мероприятий, направленных на повышение качественного уровня и эффективности эксплуатации технических средств. Особую группу составляют позиционные механизмы циклического действия с периодическим режимом нагружения, широко используемые в строительной практике (щековые дробилки, формовочные прессы, манипуляторы, грузоподъемные лифты, механизмы изменения вылета стрелы, грейферные механизмы и др.). Нагрузки таких механизмов имеют переменный, периодический характер. На рабочих участках их значения многократно превышают нагрузки холостого хода, но по длительности действия существенно уступают им. При такой неравномерности расчетные (эквивалентные) нагрузки незначительно отличаются от максимальных, что приводит к увеличению конструктивных параметров системы, расхода материалов, массы и стоимости механизмов и строительных машин, а в дальнейшем их эксплуатационных затрат. В данных случаях целесообразно выравнивать нагрузки. Результаты расчета деталей машин по эквивалентным и средним напряжениям указывают на возможность значительного снижения их размера и массы. Двукратное снижение усилия при одноосном напряженном состоянии приводит к удвоенному снижению массы детали. При действии изгибающего или крутящего момента диаметр вала уменьшается в 1,26 раза, масса — в 1,6, а величина момента инерции — в 2,5 раза. Снижаются модуль и размеры зубчатых колес, что в среднем приводит к уменьшению массы и размеров редуктора в 1,3–1,4 раза.

Участие дополнительных подвижных масс улучшает распределение нагрузок. Однако необходимость существенного увеличения момента инерции механизма создает значительные неудобства в эксплуатации.

Растущая интенсивность работы строительных машин и оборудования, совершенствование конструкции двигателей привели к резкому сокращению использования дополнительных инерционных масс. Значительная часть современных строительных машин работает с частым изменением скоростей и направлений движения. Поэтому для сокращения времени переходных процессов стремятся к максимальному снижению массы и момента инерции механизма. В связи с невысокой величиной момента инерции подвижных масс максимальные нагрузки практически без изменения их формы и относительного перераспределения передаются на все элементы механизма, в том числе и на двигатель, вызывая необходимость увеличения размеров деталей и мощности двигателя. Наращивание объемов строительного производства, ввод новой техники, увеличивающиеся темпы затрат энергии требуют иного подхода в решении выдвигаемых задач.

Отсутствие эффективной оценки неравномерности изменения нагрузок на детали машин затрудняет анализ и выбор способов их выравнивания.

В условиях нестационарного нагружения деталей для более полного использования ресурсов расчет элементов механизма на прочность ведут по эквивалентным нагрузкам [1, 2]:

$$M_{\text{эк}} = \sqrt[m]{\sum_{i=1}^n M_i^m n_i \Delta t_i} / \sum_{i=1}^n n_i \Delta t_i , \quad (1)$$

где n_i , Δt_i — частота изменения напряжений и продолжительность режима работы механизма с нагрузкой M соответственно; m — показатель степени (параметр кривой усталости).

Если частоты равны между собой $n_1 = n_2 = n_3 = \dots = n_n$, то расчетная формула (1) принимает вид

$$M_{\text{эк}} = \sqrt[m]{\sum_{i=1}^n M_i^m \Delta t_i} / \sum_{i=1}^n \Delta t_i . \quad (2)$$

Рассмотрим процесс выравнивания нагрузок (рис. 1) при соблюдении условий $\sum_{i=1}^n \Delta t_i = t_{\text{раб}} = \text{const}$, $\omega_{\text{дв}} = \text{const}$, совершаяя механическая работа $A_{\text{м}} = \text{const}$, потерями на трение пренебрегаем.

Выразив параметры (2) в относительных единицах $\alpha_i = M_i / M_1 \leq 1$, $\beta_i = \Delta t_i / \sum \Delta t_i \leq 1$, где M_1 — наибольшее значение момента на рабочем интервале, находим

$$M_{\text{эк}} = M_1 \sqrt{\beta_1 + \sum_{i=2}^n \alpha_i^m \beta_i} . \quad (3)$$

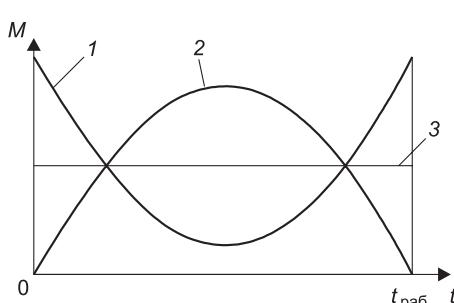


Рис. 1. Преобразование нагрузок электротехнических систем

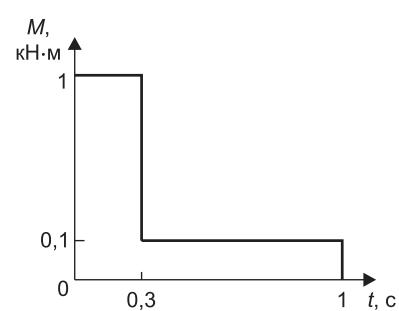


Рис. 2. Диаграмма рабочих нагрузок

Верхней границей функции (3) является наибольший момент нагрузки M_1 , так как все значения α_i и $\beta_i < 1$.

Нижнему значению соответствует средняя величина момента

$$\lim_{m \rightarrow 1} M_1 \sqrt[m]{\beta_1 + \sum_{i=2}^n \alpha_i^m \beta_i} = \sum_{i=1}^n M_i \Delta t_i / \sum_{i=1}^n \Delta t_i = M_{cp}. \quad (4)$$

Условие (4) выполняется и при несоответствии частот

$$\min M_{ek} = M_{cp} \sqrt[m]{\sum_{i=1}^n n_i \Delta t_i / \sum_{i=1}^n n_i \Delta t_i} = M_{cp}.$$

При частичном выравнивании моментов (см. рис. 1, линии 1, 2) имеется, по крайней мере, один интервал $\Delta t_{i=k}$, на котором $M_{i=k} > M_{cp}$, а значит, $M_k \geq M_3 \geq M_{cp}$. Следовательно, отношение эквивалентного момента за время работы к среднему значению определяет количественную меру, отражающую качественное распределение нагрузок на деталь механизма, машины:

$$\lambda = M_3 / M_{cp} \geq 1. \quad (5)$$

Данный показатель может быть принят в качестве критерия при анализе процесса выравнивания нагрузок.

Значения λ для наиболее характерных случаев изменения момента нагрузки приведены в таблице. Как видно из представленных результатов, принятый показатель λ при заданной степени приведения однозначно характеризует степень неравномерности распределения нагрузок, не связан с физической величиной, что обеспечивает универсальность данной оценки. Таким образом, предложенный критерий λ (5) позволяет производить оценку эффективности преобразования нагрузочных графиков и согласование путей их реализации. Анализируя значения λ (см. таблицу), легко видеть, что выпуклые зависимости более равномерны, чем вогнутые. Существенное влияние на неравномерность нагрузок оказывает показатель степени m . С увеличением значения m усиливается влияние максимальных нагрузок, что приводит к увеличению λ , т.е. неравномерности нагрузок, интенсивный рост которого наблюдается в области относительно невысоких значений $m = 3...6$, соответствующих наиболее распространенным техническим условиям проектирования оборудования.

Для дальнейших исследований положим, что нагрузка изменяется ступенчато и имеет два последовательных участка (рис. 2). Приравняв $M_2/M_1 = \psi$, $t_2/t_1 = \tau$, вычислим эквивалентный и средний моменты нагрузок:

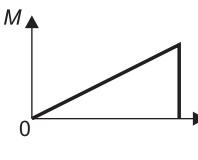
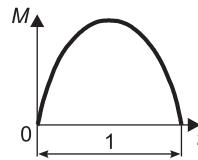
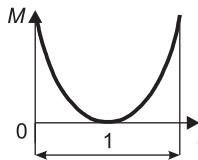
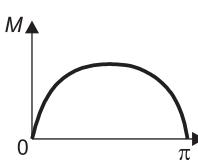
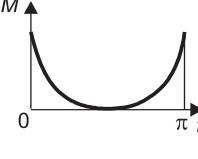
$$M_3 = \sqrt[m]{\frac{M_1^m t_1 + M_2^m t_2}{t_1 + t_2}} = M_1 \sqrt[m]{\frac{1 + \psi^m \tau}{1 + \tau}},$$

$$M_{cp} = \frac{M_1 t_1 + M_2 t_2}{t_1 + t_2} = M_1 \frac{1 + \psi \tau}{1 + \tau}. \quad (6)$$

По отношению M_{ek}/M_{cp} находим

$$\lambda = \frac{1 + \tau}{1 + \psi \tau} \sqrt[m]{\frac{1 + \psi^m \tau}{1 + \tau}}. \quad (7)$$

Обобщенные критерии неравномерности нагрузочных графиков

Диаграмма нагрузок	Критерий неравномерности λ			
	$m = 3$	$m = 6$	$m = 9$	M_{\max}/M_{cp}
1. Линейная $M = kt$	$\lambda = 2 / \sqrt[m]{m+1}$			
	1,26	1,45	1,55	2
$(M_{\max}/M_{\text{эк}} - 1)100 \%$				
	59 %	38 %	29 %	100 %
2. Выпуклая парабола $M = A(-t^2 + t)$ A — постоянная	$\lambda = 6 \sqrt[m]{\frac{(-1)^m}{2m+1} + \frac{(-1)^{m-1}}{2} + \frac{(-1)^{m-2}m(m-1)}{2!(2m-1)} + \dots + \frac{(-1)^{m-3}m(m-1)(m-2)}{3!(2m-2)} + \dots + \frac{1}{m+1}}$			
	1,16	1,26	1,34	1,5
	29 %	19 %	12 %	50 %
3. Вогнутая парабола $M = A(2t - 1)^2$	$\lambda = 3 \sqrt[m]{\frac{1}{2m+1}}$			
	1,57	1,96	2,16	3
	91 %	53 %	39 %	200 %
4. Выпуклая полуволна синусоиды $M = Asin\alpha$	$\lambda = \frac{\pi}{2} \sqrt[m]{\frac{2}{\pi} \left(1 - \frac{a}{3} + \frac{a(a-1)}{2!5} - \frac{a(a-1)(a-2)}{3!7} + \dots \right)}$ при $m = 2a + 1; a = 1,2,3, \dots$			
	$\lambda = \frac{\pi}{2} \sqrt[m]{\left(\frac{1}{2}\right)^a \left(1 + \frac{a(a-1)}{2!2} + \frac{a(a-1)(a-2)(a-3)}{4!4} + \dots \right)}$ при $m = 2a$			
	1,18	1,29	1,35	1,57
	33 %	22 %	16 %	57 %
5. Вогнутая полуволна синусоиды $M = A(1 - sin\alpha)$	$\lambda = \frac{\pi}{\pi - 2} \sqrt[m]{\frac{1 - \frac{2m}{\pi} + \frac{m(m-1)}{2!2} - \frac{m(m-1)(m-2)}{3!4} 2\left(1 - \frac{1}{3}\right) - \frac{m(m-1)\dots(m-4)}{5!\pi} 2\left(1 - \frac{2}{3} + \frac{1}{5}\right) + \dots}{\pi}}$			
	1,51	1,82	2	2,75
	82 %	51 %	37 %	175 %

На рис. 3 изображены графики этой зависимости при значении $m = 3$.

Из представленных примеров видно, что как величина ψ , так и τ оказывают существенное влияние на неравномерность нагрузок. Таким образом, возможны следующие способы их выравнивания: снижение величины перепада нагрузок, уменьшение длительности числа рабочих участков с пониженной нагрузкой.

Воспользуемся критерием λ для уточнения факторов, влияющих на форму нагрузочного графика.

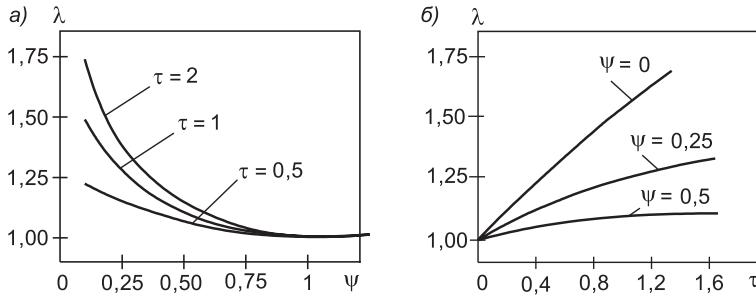


Рис. 3. Зависимость критерия неравномерности от соотношения нагрузок (а) и длительности участков (б) при $m = 3$

Неравномерность нагрузок снижается при увеличении доли постоянной составляющей момента на всех рабочих участках механизма.

Допустим, что $M_1 = M'_1 + M_0$, $M_2 = M'_2 + M_0$, $M_0 / M'_1 = \psi_0$, $M'_2 / M'_1 = \psi'$ (здесь M_0 — постоянная составляющая момента нагрузки). Тогда (7) можно написать в виде

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{((1+\psi_0)^m + (\psi'+\psi_0)^m \tau)(1+\tau)^{m-1}}{((1+\psi_0) + (\psi'+\psi_0)\tau)^m}}. \quad (8)$$

Как следует из данного выражения, с увеличением ψ_0 $\lambda \rightarrow 1$, т.е. равномерность нагрузок повышается.

Повышение постоянной составляющей нагрузок возможно снижением допустимой области использования оборудования за счет расширения технологического ряда машин, совершенствованием технологических процессов для повышения равномерности загруженности механизмов, применением аккумулирующих устройств: гидравлических, пневматических, пружинных и др.

Снижение неравномерности нагрузок обеспечивается преобразованием передаточного числа механических передач.

Выразим значения параметров быстроходного вала механизма через параметры тихоходного вала с индексом «т». Имея в виду $M_1 = M_{1t} / u_1$, $M_2 = M_{2t} / u_2$, $\tau_1 = \varphi_{1t} u_1 / \omega$, $\tau_2 = \varphi_{2t} u_2 / \omega$, $M_{2t} / M_{1t} = \psi$, $\varphi_{2t} / \varphi_{1t} = \tau$ и вводя обозначение $u_2 / u_1 = \bar{u}$ (u_1 , u_2 — передаточные числа на первом и втором участках работы механизма), получаем

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{(\bar{u}^{m-1} + \psi^m \tau)(1/\bar{u} + \tau)^{m-1}}{(1+\psi\tau)^m}}. \quad (9)$$

Из (9) следует, что соответствующим подбором функции передаточного числа можно достичь более равномерного распределения действующих моментов. Изменение передаточного числа должно осуществляться пропорционально изменению действующих нагрузок без увеличения момента инерции системы. Это создает возможность выравнивания нагрузок в условиях частых пусков, торможений, выполнения реверса и регулирования скорости механизма.

В связи с цикличностью работы механизма передаточное число таких передач должно быть периодичным, кратным π . Данным требованиям соответствуют карданные пары, механизмы эллиптических, эксцентрических колес и др.

Пример иллюстрации выполненных исследований. Требуется спроектировать прямозубую передачу для редуктора общего назначения. Диаграмма нагрузок представлена на рис. 2.

Решение. Эквивалентный момент нагрузки

$$M_{\text{пр}} = m \sqrt[n]{\sum_{i=1}^n M_i^m t_i / T} = \sqrt[3]{(1 \cdot 0,3 + 0,0007) / 1} = 0,67 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Средний момент нагрузки

$$M_{\text{ср}} = 1 \cdot 0,3 + 0,1 \cdot 0,7 = 0,37 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Межосевое расстояние зубчатых прямозубых передач из условия контактной выносливости [2]:

$$a_{\omega} = 450(u+1) \sqrt[3]{\frac{K_h M}{\psi_a u [\sigma]_h^2}},$$

где $[\sigma]_h$ — допускаемое контактное напряжение;

u — передаточное число пары;

ψ_a — коэффициент ширины венца;

K_h — коэффициент нагрузки, зависящий от точности изготовления колес, рабочей скорости, ширины венца.

При равных значениях параметров межосевое расстояние по эквивалентной и средней нагрузкам составит:

$$a_{\omega(\text{эк})} = a_{\omega(\text{ср})} \sqrt[3]{M_{\text{пр}} / M_{\text{ср}}} = a_{\omega(\text{ср})} \sqrt[3]{0,67 / 0,37} = 1,22 a_{\omega(\text{ср})}.$$

Таким образом, модуль, диаметр шестерни и колеса при эквивалентной нагрузке в 1,22 раза превышают их значения при средней нагрузке. Соответственно масса колеса и шестерни увеличится в 1,5 раза, а их инерционность — в 2,21 раза.

Приведенный пример показывает, каких практических результатов в снижении параметров исследуемого механизма можно достичь за счет преобразования нагрузочной диаграммы.

Выводы. Снижение неравномерности нагрузок механизмов позиционного действия при пониженных значениях момента инерции обеспечивается уменьшением числа участков холостого хода, снижением допустимых пределов использования механизма, применением передач с изменяющимся пропорционально нагрузкам передаточным числом.

Анализ неравномерности распределения нагрузок может осуществляться сравнением эквивалентной (среднестепенной) величины действующих нагрузок со средним значением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Серенсен, С.В. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность : Справочное пособие [Текст] / С.В. Серенсен, В.П. Когаев, Р.М. Шнейдерович. — М. : Металлургия, 1975. — 488 с.
- Решетов, Д.Н. Детали машин [Текст] / Д.Н. Решетов. — М. : Машиностроение, 1989. — 496 с.

ЕГОРОВ В.Ф., канд. техн. наук, доц.; E-mail: evf@zaaproxy.ru
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

Получено после доработки 31.03.10

Egorov V.F., candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: evf@zaaproxy.ru, Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

DECREASE OF NON-UNIFORMITY OF LOADING OF ITEM MECHANISMS

The generalized criterion for the analysis of non-uniformity of distribution of loadings of elements of designs, based on comparison of their equivalent and average meanings is offered, that provides uniformity and universality of spent estimations. The meanings of criterion for convex and concave load of the diagrams are given. The methods of alignment of loadings of mechanisms of item action are developed at low meanings of the moment of inertia of their mobile weights.

Key words: non-uniformity of loadings of elements of designs, criterion of distribution of loadings, alignment of loadings.

REFERENCES

1. Serensen, S.V. Bearing ability and accounts of details the machine durability : The help manual [Text] / S.V. Serensen, V.P. Kogaev, R.M. Shneiderovich. — Moscow : Metallurgy, 1975. — 488 p.
 2. Reshetov, D.N. Details of machines [Text] / D.N. Reshetov. — Moscow : Mechanical engineering, 1989. — 496 p.
-

УДК 621.926/.927

И.А. СЕМИКОПЕНКО, В.П. ВОРОНОВ, П.П. ПЕНЗЕВ

АГРЕГАТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ И ПОМОЛА МАТЕРИАЛА

Описана конструкция агрегата предварительной классификации и помола материалов. Приведены математические выражения для определения геометрических и технологических параметров узла предварительной классификации материала.

Ключевые слова: дезинтегратор, диск, частица, патрубок, агрегат.

При производстве большинства строительных материалов одним из основных является процесс измельчения, на который затрачивается от 10 до 60 % всей потребляемой энергии [1]. Мельницы дезинтеграторного типа наиболее перспективны в плане получения готового продукта с заданным гранулометрическим составом [2].

Одним из факторов, влияющих на эффективность работы дезинтеграторов, является предварительная классификация измельчаемого материала и классификация готового продукта. С этой целью в данной работе представлен агрегат предварительной классификации и тонкого измельчения материалов.

Агрегат работает следующим образом. Исходный материал влажностью до 4 % и крупностью от 0 до 20 мм через загрузочную течку 7 направляется в узел предварительной классификации 1 на горизонтальный разбрасывающий диск 6 с разгонными лопatkами 18, закрепленный на вращающемся вертикальном валу 5. В нижней части разбрасывающего диска жестко закреплены лопатки 13. Угол наклона загрузочной течки 7 больше угла естественного откоса измельчаемого материала. Вследствие различной крупности частиц измельчаемого материала, направляемого на разбрасывающий диск, при отрыве от лопаток диска частицы имеют разную кинетическую энергию и вылетают по различным траекториям. Более крупные частицы направляются к периферийной части внешнего неподвижного бункера 4 и затем попадают во внешний вращающийся цилиндр 9 узла разгона и в верхние разбрасывающие патрубки 11. Более мелкие частицы направляются во внутренний вращающийся бункер 3 и во внутренний вращающийся цилиндр 8 узла разгона, а также в нижние разбрасывающие патрубки 10. Цилиндры 8 и 9 приводятся во вращение от электродвигателя 12. Между неподвижным бункером 4 и вращающимся цилиндром 9 имеется уплотнение 16. Разбрасывающие патрубки 10 и 11 наклонены к горизонту под углом, зависящим от свойств измельчаемого материала, с целью его эффективного прохождения к рядам ударных элементов. Расстояние между срезом разбрасывающих патрубков и ударными элементами 14 первого внутреннего ряда больше максимального размера измельчаемых частиц для предотвращения их заклинивания. Таким образом осуществляется предварительная классификация измельчаемого материала перед его измельчением в камере помола. За счет применения вентиляционных лопаток 17 увеличивается радиальная скорость движения частиц от центра ка-

меры помола 2 к периферийной части. В камере помола частицы материала соударяются с ударными элементами каждого ряда, при этом изменяется направление движения и увеличивается скорость частиц от ряда к ряду. Ударные элементы 14 первого внутреннего ряда испытывают

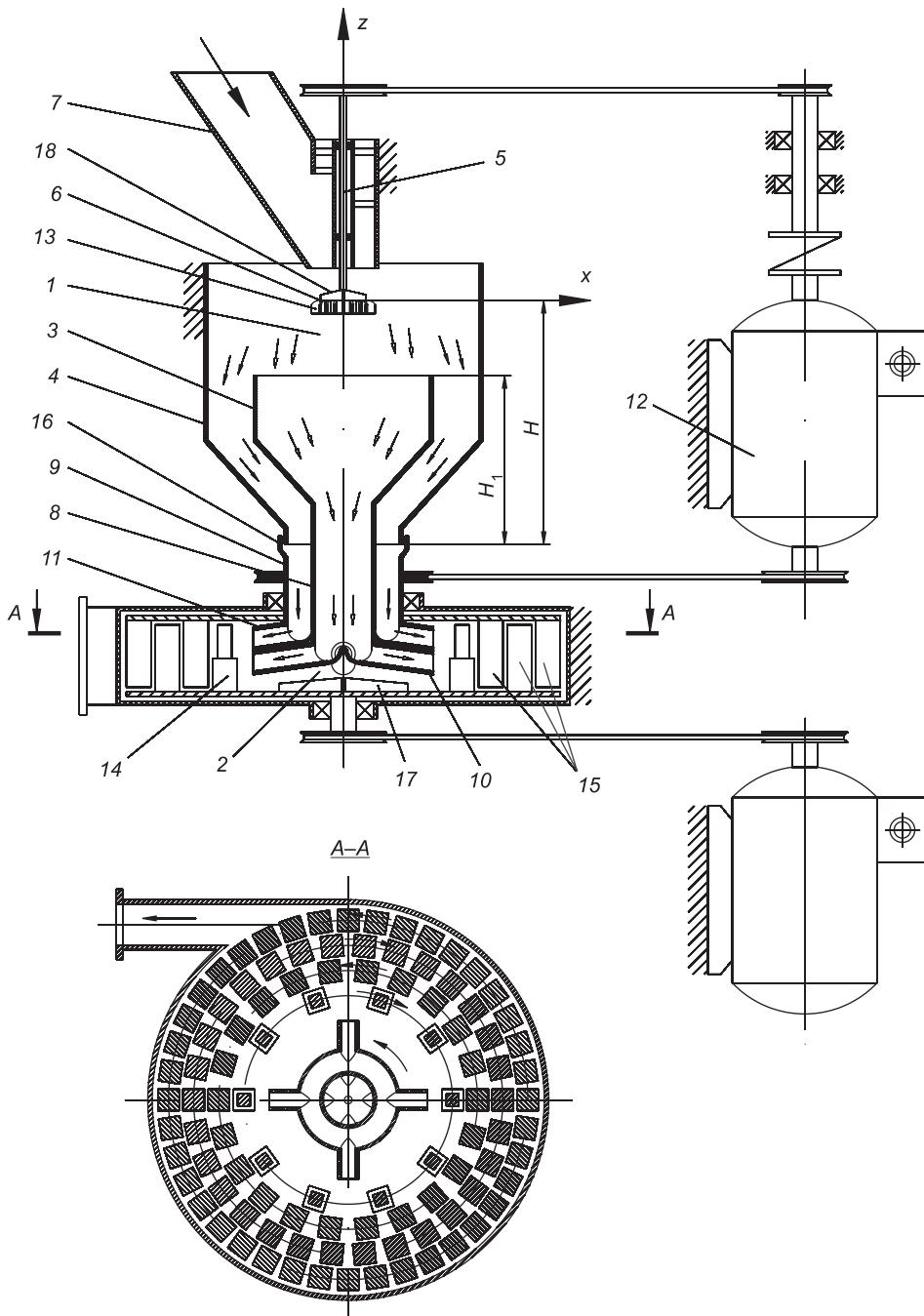


Рис. 1. Схема агрегата предварительной классификации и помола материала

1 – узел предварительной классификации; 2 – камера помола; 3 – внутренний вращающийся бункер; 4 – внешний неподвижный бункер; 5 – вертикальный вал; 6 – разбрасывающий диск; 7 – загрузочная течка; 8 – внутренний вращающийся цилиндр; 9 – внешний вращающийся цилиндр; 10 – нижние разбрасывающие патрубки; 11 – верхние разбрасывающие патрубки; 12 – электродвигатель; 13 – лопатки; 14 – ударные элементы первого внутреннего ряда; 15 – ударные элементы второго, третьего и четвертого рядов; 16 – уплотнение; 17 – вентиляционные лопатки; 18 – разгонные лопатки

воздействие со стороны измельчаемого материала по всей высоте вследствие применения верхнего и нижнего рядов разбрасывающих патрубков. Расстояния между смежными ударными элементами в первом внутреннем ряду больше двух максимальных размеров частиц загружаемого материала. Схема агрегата предварительной классификации и помола материала представлена на рис. 1.

Геометрические характеристики ударных элементов в камере помола подобраны с учетом разделения измельчаемого материала по крупности. Зазор между смежными ударными элементами в первом внутреннем ряду камеры помола больше в верхней части напротив верхних разбрасывающих патрубков. Увеличение зазора обеспечивается переменным профилем поперечного сечения ударных элементов по высоте в первом внутреннем ряду. Так как частицы на последующих рядах ударных элементов вследствие их измельчения приобретают приблизительно одинаковые размеры, то ударные элементы 15 второго, третьего и четвертого рядов имеют постоянный профиль по высоте. Данная геометрическая форма ударных элементов во внутреннем ряду камеры помола позволяет осуществлять селективное воздействие на измельчаемый материал, повышать пропускную способность первого внутреннего ряда и эффективность измельчения в целом. На рис. 2 приведена расчетно-кинематическая схема узла предварительной классификации материалов. На рис. 3 представлен график зависимости безразмерной величины z' от диаметра d частицы материала.

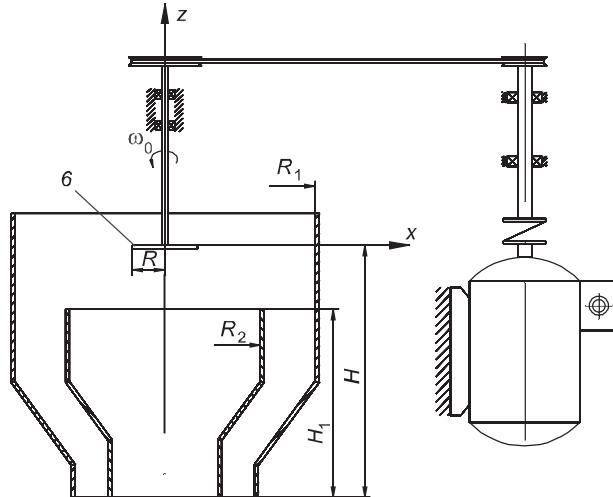


Рис. 2. Расчетно-кинематическая схема узла предварительной классификации материалов

Рассмотрим движение частицы в узле предварительной классификации в цилиндрической системе координат с центром на оси вращения разбрасывающего диска 6 (см. рис. 1 и 2).

В пространстве скоростей V_r , V_ϕ , V_z система исходных уравнений имеет следующий вид [3]:

$$\begin{aligned} \frac{dV_r}{dt} &= \frac{V_\phi^2}{r} + \frac{1}{\tau}(U_r - V_r), \\ \frac{dV_\phi}{dt} &= -\frac{V_r V_\phi}{r} + \frac{1}{\tau}(U_\phi - V_\phi), \end{aligned} \quad (1)$$

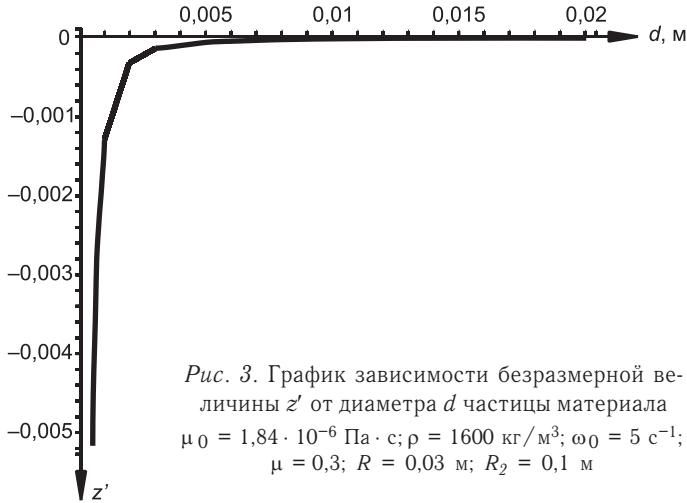


Рис. 3. График зависимости безразмерной величины z' от диаметра d частицы материала
 $\mu_0 = 1,84 \cdot 10^{-6}$ Па·с; $\rho = 1600$ кг/м³; $\omega_0 = 5$ с⁻¹;
 $\mu = 0,3$; $R = 0,03$ м; $R_2 = 0,1$ м

$$V_r = \frac{dr}{dt},$$

где

$$\tau = \frac{\rho d^2}{18\mu_0} \quad (2)$$

— характерное время;

$\mu_0 = 1,84 \cdot 10^{-6}$ Па·с — коэффициент динамической вязкости запыленного воздуха;

ρ — плотность частицы материала;

d — приведенный диаметр частицы.

В системе (1) перейдем к безразмерным переменным согласно соотношениям

$$\begin{aligned} V_r &= \omega_0 R W_r, \quad V_\phi = \omega_0 R W_\phi, \quad V_z = \omega_0 R W_z, \quad r = Rr', \quad t = \tau t', \quad z = Rz', \\ U_r &= \omega_0 R U'_r, \quad U_\phi = \omega_0 R U'_\phi, \end{aligned} \quad (3)$$

где ω_0 — частота вращения вала;

R — радиус загрузочного диска.

Введем безразмерный параметр $\alpha = \omega_0 \tau$, тогда исходная система уравнений (1) примет следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dW_r}{dt'} = \alpha \frac{W_\phi^2}{r'(t')} + U'_r - W_r, \\ \frac{dW_\phi}{dt'} = -\alpha \frac{W_r W_\phi}{r'(t')} + U'_\phi - W_\phi, \\ \frac{dr'}{dt'} = \alpha W_r. \end{cases} \quad (4)$$

Полученная система уравнений (4) описывает поле скоростей частицы материала в плоскости, перпендикулярной оси OZ , относительно безразмерных переменных (3). Движение частицы материала вдоль оси OZ описывается в рамках безразмерных величин уравнением

$$\frac{dW_z}{dt'} + W_z = \frac{\tau g}{\omega_0 R}, \quad (5)$$

где g — ускорение свободного падения.

Решение системы уравнений (4) будем искать в рамках следующего допущения: $U'_r = 0$, что соответствует условию отсутствия радиальной компоненты скорости воздушного потока в радиальном направлении.

Рассмотрим случай стационарного потенциального и однородного в окружном направлении движения несущей среды, когда

$$U_\varphi r = \text{const} \quad (6)$$

или с учетом (3)

$$\omega_0 R^2 U'_\varphi r = \text{const}. \quad (7)$$

На основании начальных условий

$$\omega_0 R^2 = \text{const}.$$

Тогда согласно (7)

$$U'_\varphi = \frac{1}{r'}. \quad (8)$$

С учетом сделанных предположений и (8) система уравнений (4) приводится к виду

$$\begin{cases} \frac{dW_r}{dt'} = \alpha \frac{W_\varphi^2}{r'(t')} - W_r, \\ \frac{dW_\varphi}{dt'} = -\alpha \frac{W_r W_\varphi}{r'(t')} - \frac{1}{r'(t')} - W_\varphi, \\ \frac{dr'}{dt'} = \alpha W_r \end{cases} \quad (9)$$

с начальными условиями согласно [4]:

$$\begin{cases} W_r(0) = \frac{1}{2\mu}, \\ W_\varphi(0) = 1, \\ r'(0) = 1, \end{cases} \quad (10)$$

где μ — коэффициент трения частицы о поверхность.

Решение задачи Коши (9), (10) позволяет найти значение радиальной и окружной скорости частицы в плоскости, перпендикулярной оси OZ .

Безразмерное перемещение частицы в узле предварительной классификации вдоль оси OZ можно найти в результате интегрирования (6) с нулевыми начальными условиями:

$$z' = \frac{\tau g}{\omega_0 R} [(1-t') - e^{-t'}]. \quad (11)$$

Приведем методику вычисления скоростных режимов работы узла предварительной классификации материала.

1. Задаем конструктивные параметры: радиус загрузочного диска R (позиция 6), радиус внешнего цилиндра R_1 (позиция 4), радиус внутреннего цилиндра R_2 (позиция 3) (см. рис. 2).

2. Задаемся предельной по размеру (d) частицей материала, частотой вращения ω_0 , плотностью материала ρ , динамической вязкостью μ_0 (технологические параметры).

3. Интегрируем систему уравнений (9) с начальными условиями (10).

Интегрирование ведем до значения $r' = \frac{R_2}{R}$.

Определяем значение безразмерного параметра t' , зная который, находим

$$z' = \frac{g\tau}{\omega_0 R} (-t' - e^{-t'} + 1) + \frac{H}{R},$$

а затем и высоту внутреннего цилиндра:

$$H_1 = z' R = H + \frac{g\tau}{\omega_0} (1 - t' - e^{-t'}).$$

Из полученной графической зависимости (рис. 3) видно, что на вертикальное перемещение частицы в узле предварительной классификации существенное влияние оказывает размер частицы при фиксированном значении частоты вращения разбрасывающего диска. Таким образом, зная максимальный диаметр частиц материала и частоту вращения разбрасывающего диска, можно определить высоту внутреннего цилиндра и остальные геометрические параметры узла предварительной классификации материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Ходаков, Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов [Текст] / Г.С. Ходаков. — М. : Стройиздат, 1972. — 239 с.
- Хинт, И.А. Основы производства силикальцитных изделий [Текст] / И.А. Хинт. — М. ; Л. : Стройиздат, 1962. — 636 с.
- Шишков, Н.И. Исследование скорости вылета частиц измельчаемого материала с тарельчатого ротора, снабженного радиальными лопастями [Текст] / Н.И. Шишков, Г.Н. Оскаленко, В.С. Партика // Хим. машиностроение. — 1987. — № 45. — С. 51–54.
- Воронов, В.П. Теоретические исследования скорости движения частиц материала вдоль поверхности ударного элемента мельницы дезинтеграторного типа [Текст] / В.П. Воронов, И.А. Семикопенко, П.П. Пензев // Изв. вузов. Строительство. — 2008. — № 11–12. — С. 93–96.

Семикопенко И.А., канд. техн. наук, доц.

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Воронов В.П., канд. физ.-мат. наук, проф.*

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Пензев П.П., асп.*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Получено после доработки 22.04.10

Semikopenko I.A., candidate of technical sciences, assistant professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Voronov V.P., candidate of physical and mathematical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Penzhev P.P., post-graduate student, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

AGGREGATE OF PRIOR CLASSIFICATION AND MATERIAL GRINDING

We described the construction of the aggregate of prior classification and material grinding which ensures classification and material grinding. We also presented the

mathematical formulation of expressions for determination of geometric and technological parameters of prior material classification element.

Key words: disintegrator, disk, particle, branch pipe, aggregate.

REFERENCES

1. Khodakov, G.S. Fine grinding of building materials [Text] / G.S. Khodakov. — M. : Stoyizdat, 1972. — 239 p.
 2. Hint, I.A. Manufacture bases of silicacition products [Text] / I.A. Hint. — M. ; L. : Stroyizdat, 1962. — 636 p.
 3. Shishkov, N.I. Examination of spead of escape of grinding material particles from dished rotor fitted with radial blade [Text] / N.I. Shishkov, G.N. Oskalenko, V.S. Partyka // Chemical engineering. — 1987. — N 45. — P. 51–54.
 4. Voronov, V.P. Theoretical of research of speed of movement of particles of a material along a surface of a shock element of a mill dezintegrator type [Text] / V.P. Voronov, I.A. Semikopenko, P.P. Penzev // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2008. — N 11–12. — P. 93–96.
-

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

УДК 711.112:711.455(571.151)

П.В. СКРЯБИН

ПРЕДПОСЫЛКИ И ОГРАНИЧЕНИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО ОСВОЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ГОРНОГО АЛТАЯ ДЛЯ РЕКРЕАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Градостроительное планирование территории для рекреационной деятельности должно быть основано не только на природных и экономических факторах, но и на правовом зонировании. Решение этой проблемы для Горного Алтая заключается в создании градостроительных и правовых регламентов для формирования сбалансированной курортно-туристской сети в уникальной природной среде.

Ключевые слова: градостроительство, территориальное планирование, зонирование, ландшафты, рекреация, градостроительные регламенты.

Республика Алтай, расположенная в центре Северной Азии на стыке четырех государств: Китая, Казахстана, Монголии и России, является субъектом Российской Федерации и составной частью огромной Алтае-Саянской горной страны. Эти горы, в отличие от давно освоенных и окультуренных ландшафтов Европы, привлекательны своим первозданным и нетронутым ландшафтом, уникальной возможностью организации отдыха в слабоосвоенных и неосвоенных природных комплексах. Поэтому основным ресурсом для экономического развития здесь являются источники минеральных вод, целебных грязей, горный климат, почти не тронутая хозяйственной деятельностью природа и уникальное биологическое и ландшафтное разнообразие Алтайских гор.

Благодаря этому на территории республики разработаны десятки инвестиционных проектов по строительству крупных урбанизированных курортно-туристских комплексов: туристско-рекреационной зоны «Алтайская долина» на р. Катуни; строительство санаторно-курортного комплекса «Altay-West» в урочище Узюк; туристско-развлекательного комплекса на Телецком озере; санаторного комплекса «Москва»; зоны экстрем-парка «Майма» и др. (рис. 1).

При этом возникает **проблема опустошительного инвестиционного освоения** исключительно в целях получения быстрой сверхприбыли без должного внимания к природно-экологической и этнографической первооснове. Если инвестиции вкладывать не только в строительство зданий и дорог, но и в рекультивацию ландшафта, то можно сделать его более устойчивым к антропогенным воздействиям.

В связи с этим данное исследование направлено на сохранение биологической и ландшафтной среды Алтайских гор для рекреационных и экономических целей. Для решения этой проблемы в исследовании были поставлены следующие задачи: на основе многофакторной оценки вы-

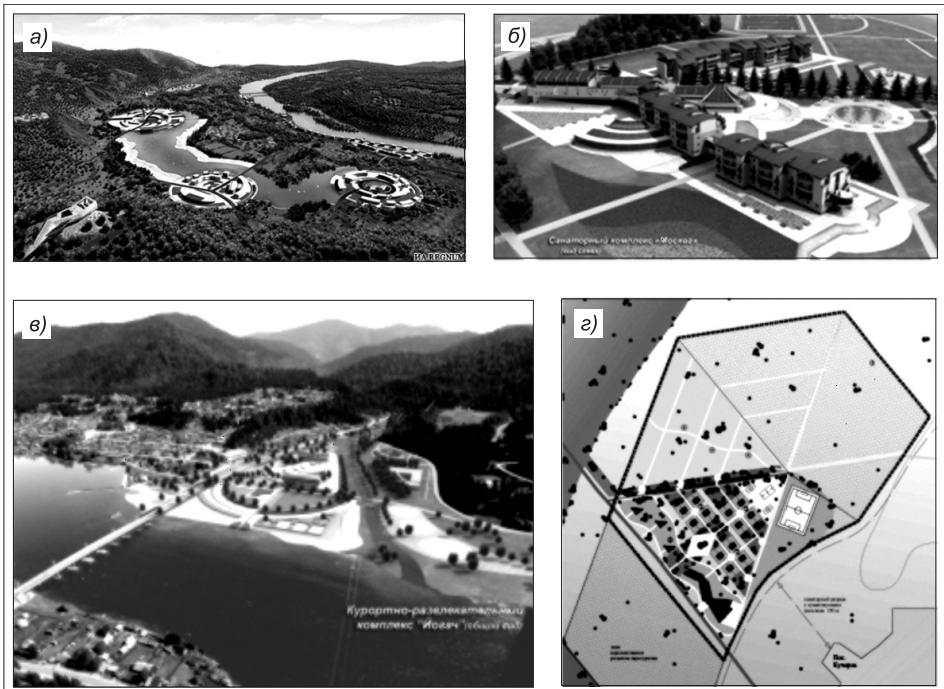


Рис. 1. Инвестиционные проекты на территории Республики Алтай

а — курортно-туристский комплекс «Алтайская долина»; б — санаторно-курортный комплекс «Москва»; в — туристско-развлекательный комплекс на берегу Телецкого озера; г — туристский комплекс «Летучий змей»

явить районы для первоочередного рекреационного освоения и на перспективу; определить предпосылки и ограничения рекреационного освоения, общие для всех выделенных районов; разработать концепцию градостроительного регламентирования рекреационного освоения этих территорий.

В результате многофакторной оценки выделено три уже инвестиционно-освоенных района: **Чемальский, район Телецкого озера, район Усть-Кан**; три района начального освоения: **Акташский, Онгудайский, Уймонская долина**; два района перспективного рекреационного освоения: **Кош-Агачский, Чуйские белки**.

В данной статье на примере обобщенной модели Уймонской горной речной долины предлагается рассмотреть общие для всех районов природные, территориальные, экономические предпосылки и природоохранные, правовые и инфраструктурные ограничения рекреационного освоения.

Природно-этнографические предпосылки для различных видов отдыха, туризма и лечения.

Лечебными ресурсами обладает территория самой долины, климат которой со слабыми ветрами, сухим летом и мягкой зимой создает условия для климатолечения туберкулезных больных, людей с заболеваниями нервной системы и органов дыхания. Кроме этого, люди приезжают сюда принять пантоクリновые ванны (вытяжка, полученная из рогов-пантов оленя-марала). Это лечебное вещество излечивает заболевания нервной системы, опорно-двигательного аппарата, ослабленный жизненней тонус, снижение умственной активности, утомляемость. Источники минеральных вод (Рахмановские ключи) способствуют лечению заболеваний глаз, желудочно-кишечного тракта.

Для познавательного и этнографического туризма привлекательно село Верхний Уймон — центр расселения старообрядцев на Алтае, где в

1926 г. побывал со своей экспедицией Рерих и расположены музей-заповедник его имени, а также музей, посвященный старообрядчеству. В окрестностях населенных пунктов Катанда, Верхний Уймон и вдоль р. Коксы множество объектов археологии: каменные стелы, палеолитические стоянки, около полутора сотен древних рисунков выбито на скалах.

Для экологического туризма привлекательны Катунский заповедник и природный парк «Белуха».

Для спортивного туризма предпочтительны более десятка озер, окруженных скалистыми вершинами, среди которых наиболее известны озера Тальмень и Поперечное, а также г. Белуха как объект альпинизма.

Для тихого отдыха удобен берег р. Катуни с хвойными лесами.

Для активного туризма привлекательны Мультинские озера, озера Аккемское и Кучерлинское, расположенные на высоте 1,5–2,0 км над уровнем моря. Они окружены ледниками и снежными вершинами, со склонов которых стекают ручьи и мелкие горные реки.

Экономические предпосылки заключаются в определении перспективных направлений инвестиционного освоения природных, этнографических, лечебных и климатических ресурсов Горного Алтая для рекреационной деятельности, в организации транспортного сообщения за счет малой авиации и снабжении продуктами питания от местного сельскохозяйственного производства.

Социально-демографический состав туристов выявлен методом анкетного опроса. Так, наибольшее число туристов составляют молодежные туристские группы — любители активного отдыха (60 %), на втором месте — бездетные молодые пары (15 %), на третьем — спортсмены и профессиональные экстремалы (12 %), затем семейные пары с детьми (8 %), на последнем месте — люди зрелого возраста (5 %). При этом инфраструктура обслуживания, по данным анкет, даже наполовину не удовлетворяет спросу на отдых, предлагаемый в Горном Алтае. Предпочитаемые формы отдыха, согласно опросу респондентов, имеют следующие тенденции: на первом месте стоит спрос на организованные путешествия (57 %), на втором — отдых в санаториях и домах отдыха (26 %), далее — самостоятельные путешествия (16 %) и на последнем месте — рыбная ловля и охота (13 %).

Исходя из того, что на первом месте стоят организованные путешествия, наибольшим спросом пользуются и наибольшую прибыль приносят малые учреждения, преимущественно кратковременного отдыха (2–7 дней), которые не требуют больших затрат при своем возведении и эксплуатации (по данным научного отчета Горно-Алтайского университета, руководитель работы — доц. кафедры экономической географии А.И. Минаев). Эти учреждения рассчитаны на небольшое число отдыхающих и работают по сезонно. Есть смысл в использовании и восстановлении традиционного жилища коренных народов Алтая (деревянного аила) и деревянных домов-срубов русских староверов. Строительство крупных комплексов целесообразно лишь в районных центрах — узлах планировочного каркаса.

Планировочный каркас здесь представлен конными и пешеходными тропами, грунтовыми дорогами и автотрассами. Так как автотрассы в условиях горной местности требуют больших капиталовложений, то целесообразно применение средств малой авиации. Наибольший экономический эффект будет достигнут при сравнительно малых капиталовложениях путем обустройства вертодромов и расчистки посадочных площадок в горах.

Природоохранные ограничения определяет экологический каркас территории долины, который сформирован озерно-речной системой (рис. 2). Так, вдоль основной композиционной оси долины — р. Катуни

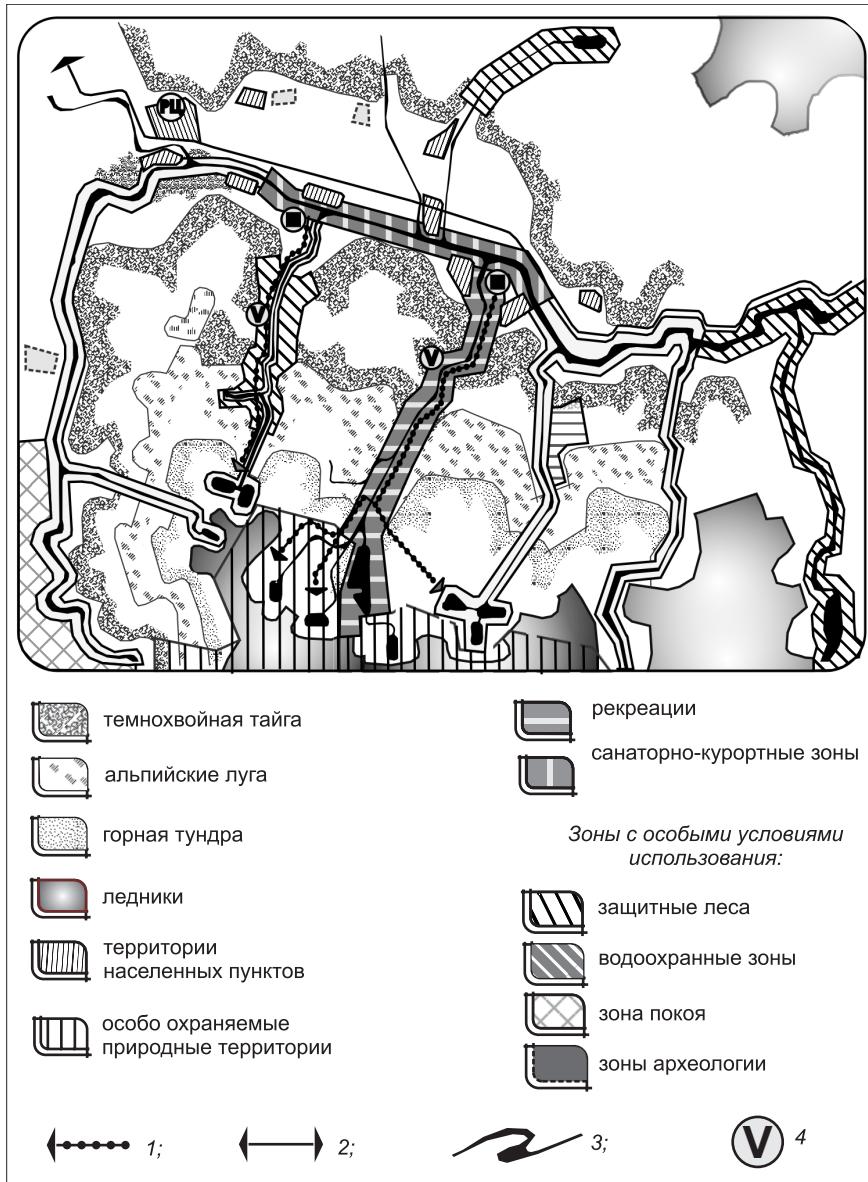


Рис. 2. Схема планировочных ограничений по природоохранным условиям
 1 — конные и пешеходные маршруты; 2 — автодорога республиканского значения; 3 — горные реки;
 4 — мараловодческие хозяйства

с водоохранной зоной в 200 м — протянулась полоса территорий, зарезервированных для развития рекреации и имеющих республиканский статус.

Перпендикулярно основной композиционной оси, вдоль побережья горных рек расположены полосы ценных, водоохранных и защитных лесов федерального значения. В них согласно Лесному кодексу [1] запрещены ведение лесного хозяйства, размещение объектов капитального строительства, проведение рубок деревьев, использование химических веществ и добыча полезных ископаемых. Возможна только прокладка лесных троп для туристов, которые здесь попадают в водоохранную зону размером 100 м согласно Водному кодексу [2]. В пределах водоохранной полосы запрещаются устройство мест складирования и захоронения отходов, использование сточных вод, а размещение объектов до-

пускается при условии оборудования их сооружениями, обеспечивающими охрану водных объектов от загрязнения, засорения и истощения вод [2, ст. 65, п. 15 и 16].

Особо охраняемыми водными объектами федерального значения являются также высокогорные озера как главная часть экологического каркаса. Пространство между осями экологического каркаса — это природные парки, зоны покоя и заповедники. На территории заповедника допускается осуществление мероприятий, направленных только на сохранение в естественном состоянии природных комплексов, обеспечение санитарной и противопожарной безопасности природных комплексов и объектов, защиту от опасных природных явлений (селей, камнепадов, снежных лавин), угрожающих жизни людей и населенным пунктам, проведение экологического мониторинга, ведение эколого-просветительской работы, осуществление контрольно-надзорных функций.

При этом наиболее строгий режим имеют зоны покоя, где запрещено какое бы то ни было вмешательство человека в природные процессы, в том числе временное присутствие людей.

Правовые ограничения заключаются в существующей схеме распределения земель по форме собственности и целевому назначению, характер которого определяется ландшафтно-тектоническим строением долины. Так, дно долины с ровным рельефом и степным ландшафтом занимают земли сельскохозяйственного назначения, их граница формируется кольцом окружающих долин горных склонов.

Горные склоны, покрытые темнохвойной тайгой, относятся к землям лесного фонда. Эти земли занимают низкогорный и среднегорный высотный пояс и включают ландшафты горной тайги и альпийских лугов. Выше этой отметки проходит граница земель особо охраняемых природных объектов и территорий, находящихся в федеральной собственности и охватывающих также и русла горных рек. Эти территории имеют особое природоохранное, научное, историко-культурное, эстетическое, рекреационное и оздоровительное значение. Согласно Земельному кодексу [3, ст. 94] на этих землях запрещается предоставление садоводческих и дачных участков, строительство автомобильных дорог, трубопроводов и линий электропередачи, а также иных коммуникаций, хозяйственных, промышленных и жилых объектов, не связанных с деятельностью, разрешенной на особо охраняемых природных территориях. Эти территории включают земли, предоставленные в постоянное, бессрочное пользование, где допускается размещение природных парков на землях иных пользователей, а также собственников земельных участков, занятых цennymi природными комплексами и объектами, объявленными в установленном порядке памятниками природы. Они могут быть изъяты у собственников этих участков, землепользователей и землевладельцев. Не изымаются только те участки, которые относятся к землям историко-культурного наследия. Эти земли находятся вблизи населенных пунктов, которые расположены россыпью по краям дна долины и вдоль русла крупной горной реки, вплотную к границам земель водного фонда и водоохранных зон.

Из этого следует, что территориальное развитие инфраструктуры отдыха, туризма и лечения возможно только на землях населенных пунктов, лесного фонда, на землях запаса с учетом всех правовых и природоохранных ограничений, установленных законодательством (Водный, Лесной и Земельный кодексы).

С этой целью в исследовании разработана концепция градостроительного регламентирования. Наиболее важным и ключевым моментом

этой концепции является проблема водоохранных зон, а точнее, их величина при различных высотно-ландшафтных условиях. Решить эту проблему предлагается путем меняющих свои границы водоохранных зон (рис. 3). Подобная водоохранная зона тянется полосой по дну горной долины вдоль реки и в продольном направлении разделяется на подзоны. Для каждой подзоны в исследовании найден и рассчитан свой набор характеристик (таблица): 1) тип ландшафта с характером растительности в зависимости от перепада высот; 2) перспективные возможности для отдыха и туризма, которые определяют функциональный набор рекреационной деятельности; 3) рекреационная емкость и допустимые средства градостроительного освоения ландшафта; 4) ширина подзоны.

Вторым предложением в этой концепции является динамическое регулирование рекреационной нагрузки. Так, например, летние палаточные лагеря должны занимать одну и ту же площадку не более двух лет, после этого территории должна быть законсервирована на 8 лет. Так как радиус интенсивного нарушения природной среды при этом составляет 300...400 м, то лагерь должен переноситься не менее чем на 600...800 м от прежнего места. Также предлагается оборудовать привалы на сквозных конных и пешеходных маршрутах с предварительно заготовленными



Рис. 3. Схема размещения водоохранных зон

Основные характеристики подзон, составляющих водоохранную зону долины горной реки

№ п/п	Подзона, ее ландшафт, характер растительности, перепад высот	Рекреационные возможности, функциональный набор рекреационной деятельности	Рекреационная емкость и допустимые средства освоения	Ширина подзоны от уреза воды
1	Подзона горно-таежного ландшафта с разреженной растительностью, скалами и горно-тундровым покровом; высота выше 2000 м над уровнем моря	Экологический туризм, альпинизм	1 чел./га, кратковременное пребывание туристов на специально подготовленных площадках	400 м
2	Подзона высокогорных альпийских лугов; перепад высот 1500...2000 м над уровнем моря	Экстремальный туризм, парашютный и дельтапланеризм, экологический туризм	2–3 чел./га, возможно размещение исключительно мобильных сооружений без инженерных коммуникаций	300 м
3	Подзона темнохвойной горной тайги на склонах (более 20°) с преобладанием пихты, кедра, лиственницы; сухие сосновые леса, 500...1500 м	Тихий прогулочный отдых в уединении или малыми группами с посещением мараловодческих хозяйств и лечение	1–2 чел./га, устройство площадок для кратковременных палаточных стоянок небольших туристских групп; возможно размещение в специально выделенных участках круглогодичных горных шале на несколько человек для экотуристов, биологов, фотоохотников	200 м
4	Подзона днища горной долины со степной растительностью; высота до 500 м	Сельское хозяйство, сельский туризм, автотуризм	5–6 чел./га	100 м

древесиной и металлическими стойками и колышками. При этом предлагается менять дислокацию каждой такой специально оборудованной площадки каждый месяц, перемещая ее на 100...200 м, так как зона нарушения природного ландшафта здесь имеет радиус 50...100 м. Это позволит снизить, перенести или перераспределить рекреационную нагрузку между перегруженными и еще не освоенными ландшафтами путем переноса мобильных рекреационных учреждений и переключения чрезмерных рекреационных нагрузок на дублирующие резервные зоны.

Такой метод динамического «переключения» нагрузок в сочетании с устройством «пульсирующих» водоохраных зон наиболее подходит для градостроительного освоения природных, этнографических и лечебных ресурсов Горного Алтая.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесной кодекс Российской Федерации (по постановлению на 20 сентября 2008 года) [Текст]. — Новосибирск : Сиб. унив. изд-во, 2008. — 64 с.
2. Водный кодекс Российской Федерации (по состоянию на 20 сентября 2008 года) [Текст]. — Новосибирск : Сиб. унив. изд-во, 2008. — 47 с.
3. Земельный кодекс Российской Федерации [Текст]. — М. : ТК Велби ; Изд-во «Пропсект», 2007. — 104 с.

СКРЯБИН П.В., асп.; E-mail: pavel-skryabin@yandex.ru
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 11.03.10

**PREMISESES AND RESTRICTIONS
OF THE URBAN PLANNING'S
OF THE MASTERING ALTAY MOUNTAIN**

The Urban planning of the recreation territories should be based on the nature and economical factories, but also on the Legal zoning. The lack of planning research doesn't allow to clearly imagine the evolution of the planning development of these territories. The loving of this problem can be the creation of the planning and legal regulations for the recreation territorial of the Hilly Altai.

Key words: urban design, territorial planning, zoning, landscapes, recreation, planning and legal regulations.

REFERENCES

1. The Wood Code of Russia (on the date of 20 September 2008 year) [Text]. — Novosibirsk : Siberian University publishing house, 2008. — 64 p.
 2. The Water Code of Russia (on the date of 20 September 2008 year) [Text]. — Novosibirsk : Siberian University Publishing house, 2008. — 47 p.
 3. The Land-use Code of Russia [Text]. — Moscow : Publishing house «Prospect», 2007. — 104 p.
-

УДК 72.036 (47+57)

Е.Ю. ОРЛОВА, Л.Н. ВОЛЬСКАЯ

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ РУССКОГО СТИЛЯ В СОВЕТСКОЙ АРХИТЕКТУРЕ (1917–1990 гг.)

Рассматриваются особенности развития русского стиля в исторические периоды советской архитектуры, отразившие принципиальные изменения в теоретических исследованиях и решении практических задач архитектуры.

Ключевые слова: русский стиль, советская архитектура, национальное в архитектуре, традиции.

Изменение идеологической и политической направленности России в 1917 г. и создание нового государства — СССР с включением союзных республик повлекли за собой смену приоритетов в обществе. Каноничные представления о «русском национальном», сложившиеся к XX в. и являвшие собой отражение старого уклада, не отвечавшего духу нового времени, приобрели иной смысл: теперь русский национальный стиль в архитектуре воспринимался как составляющая способа выражения новой идеологии. Наиболее последовательно эту позицию проводили в своих теоретических и практических работах конструктивисты.

Рассматриваемые особенности русского стиля в советский период связаны с определенными этапами архитектуры:

- *1-й этап*, 1917–1933 гг. — формирование тенденции сохранения национальной самобытности;
- *2-й этап*, 1933–1942 гг. — приоритет советского реализма в искусстве и повышение интереса к русскому национальному наследию;
- *3-й этап*, 1942–1954 гг. — реконструкция и реставрация архитектурно-художественного наследия;
- *4-й этап*, 1954–1970 гг. — актуализация проблемы традиций и инноваций в архитектуре;
- *5-й этап*, 1970–1991 гг. — развитие архитектурной теории русского стиля.

Каждый из этих этапов характерен созданием произведений зодчества, ставших впоследствии памятниками в сокровищнице мировой архитектуры.

Первый этап (1917–1933 гг.). В первые годы своего существования советская архитектура выработала некоторые интернациональные черты, на базе которых было необходимо развивать то новое, социалистическое, что объединяло бы все народы СССР, т. е. искусство должно быть «национальным по форме и социалистическим по содержанию». В вопросе о национальном в архитектуре в советской литературе развивались разнообразные тенденции, основанные на поставленных новых социальных, технических и эстетических задачах. Попытки осмыслиения и понимания русского стиля и его национальных особенностей сводились к проблеме интернационального и национального в архитектуре. Формируется представление о том, что национальное и интернациональное — это разные слои культуры. Несмотря на кажущуюся слабую выраженность в

русской архитектуре тенденции поиска национального своеобразия, в теории шло активное осмысление представлений о национальных особенностях в рамках новой социально-культурной парадигмы, все это в свою очередь стало базой для дальнейшего развития и освоения русской национальной культуры (а следовательно, и русского стиля). В архитектурной теории все более утверждается точка зрения, ориентированная на использование образцов народного искусства как носителей национальной культуры в целях выражения идей новой государственности. В качестве образцов русской архитектуры выбирались методы и приемы русского народного зодчества.

Сторонники новаторских течений (А. Веснин, К. Мельников, М. Гинзбург и т.д.) не отрицали необходимости поисков национального своеобразия архитектуры. В отличие от сторонников «национальных стилей», ориентированных на использование монументальных форм исторической архитектуры, они придерживались мнения, что прогрессивные национальные традиции более полно отразились в народном зодчестве и прежде всего не в декоре, а в учете местных условий (быта, климата, природного окружения), в характере объемно-пространственной композиции сооружений, что должно было лишь усилить характерность зодчества (не только художественную, но и материальную). Так, например, интернациональное творчество И. Леонидова в то же время было и глубоко национально, ему нравились сказочность, яркость русской архитектуры, и он широко использовал цвет для создания выразительного архитектурного образа. Создававшиеся И. Леонидовым объемные композиции близки традиционным приемам русской архитектуры (рис. 1). Русский конструктивизм оказал сильное влияние на европейскую архитектурную мысль.

На первом этапе советской архитектуры было создано много новаторских произведений, новых типов зданий и поселений, выдвинувших советскую архитектуру на передовые позиции в развитии мирового зодчества. Стремясь сделать малоэтажное жилье более экономичным, архитекторы в то же время пытались сохранить характер усадебной застройки (вход в каждую квартиру непосредственно с улицы, а каждой семье — свой озелененный участок). Наиболее часто применяемым типом был двухсекционный жилой дом. Попытка сохранения и применения опыта русского народного зодчества была предпринята в 1923 г. в проекте поселка «Сокол» архит. Н. Марковникова (рис. 2). В конструктивных решениях архитектуры коммунальных зданий были осуществлены попытки заимствования из арсенала русского деревянного зодчества. Выполненные из дерева сооружения отражали русские национальные мотивы и в декоративном оформлении фасадов. Особенно популярно подобное строительство было в Сибири, где дерево до сих пор оставалось излюбленным материалом местных зодчих. Подобные сооружения стали ярким примером отражения синтеза русских национальных традиций и инноваций в советской архитектуре.

Советское государство в своем составе имело ряд республик со своими национальными традициями и культурой, находившимися на разных ступенях общественно-экономического и культурного развития, причем многие национальные окраины были на положении колоний царской России. Поэтому проблема развития национальной культуры приобрела политический характер, «национальное своеобразие» стали связывать с архитектурой республик, а поиски «национального стиля» сосредоточиваются преимущественно в республиках Кавказа, Средней Азии и в Украине.

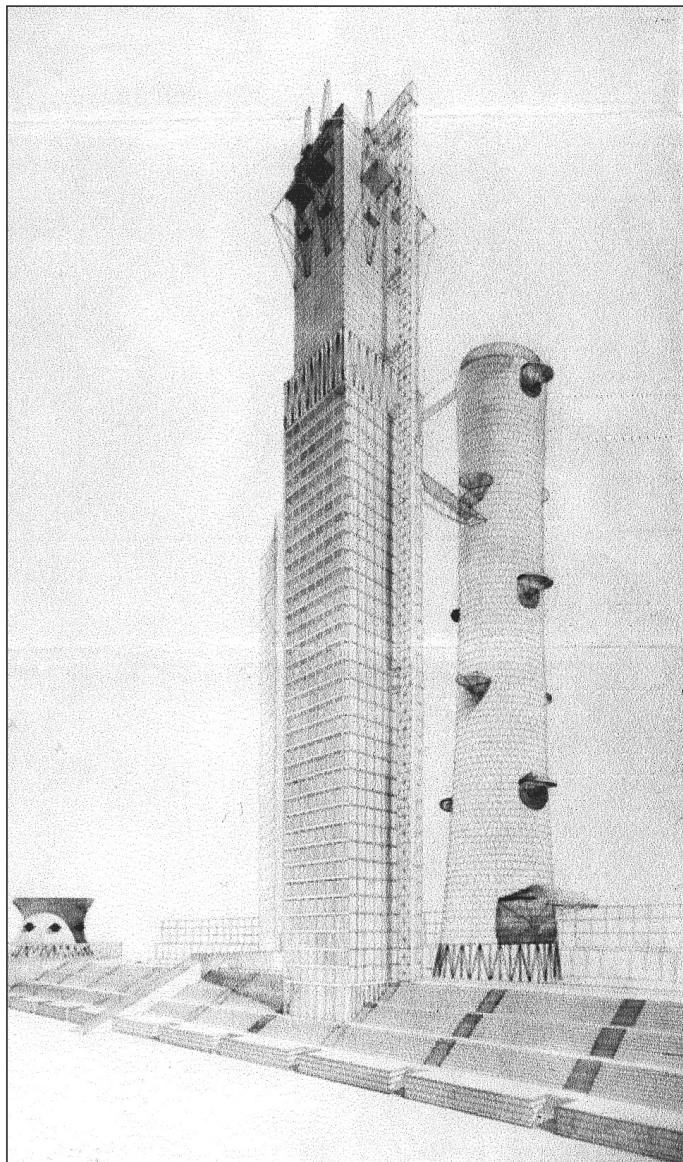


Рис. 1. Проект здания Наркомтяжпрома в Москве
(архит. И. Леонидов, 1934 г.)

На первом этапе советской архитектуры можно выделить два пути поиска национальной образности: первый заключался в принятии форм и традиций мировой классики, дополненных национальными деталями и орнаментами; второй — в использовании приемов и форм национального наследия.

Второй этап (1933–1942 гг.). Первая творческая дискуссия в Союзе архитекторов, проведенная в 1933 г. на тему «Творческие задачи советской архитектуры и проблема архитектурного наследия», собрала значительное число участников, среди которых И. Жолтовский, А. Щусев, М. Гинзбург и др. Это можно считать началом второго — довоенного этапа советской архитектуры, связанного с развитием социалистического реализма в искусстве. Пересмотр эстетических ценностей, привлечение старых пластических средств художественной выразительности повлекли за собой пересмотр ряда архитектурных концепций и обращение к русскому классическому наследию. Советские архитекторы обращаются



Рис. 2. Жилой дом поселка «Сокол» (архит. Н. Марковников, 1923 г.)

к образцам русской классики как к арсеналу композиционных принципов, приемов и форм в попытках выразить дух и цели эпохи. Развитию подобной тенденции способствовал и предреволюционный расцвет этого стиля, вызвав широкую полемику среди архитекторов — теоретиков. Так, например, ряд градостроительных положений, выработанных предыдущим периодом развития архитектуры, продолжал действовать, композиционная концепция города и его элементов менялась, возрождались классицистические принципы построения городских ансамблей, периметральная застройка, симметрия расположения масс и т.д.

Анализ теоретических и практических работ довоенного периода позволяет заключить, что в этот период развивался синтез конструктивистской и исторической архитектуры в рамках романтического творческого метода. Высказывания ведущих мастеров 1930-х гг. показывают, как по-разному подходили они к одному из основных компонентов проблемы национального в архитектуре — освоению наследия. Проблемам теории социалистического зодчества посвятили свои работы Н. Милутин, А. Михайлов, М. Гинзбург, А. Иванов, А. Розенберг, Я. Чернихов и др., заложив основы теории советской архитектуры. Так, в книге М. Гинзбурга «Стиль и эпоха» автор попытался определить пути развития исторических стилей, их влияние на сложение стилей XIX–XX вв.

В целом советская архитектура предвоенного времени характеризуется монументализацией архитектурного образа и парадной представительностью.

Третий этап (1942–1954 гг.) — послевоенный, связан с активной реконструкцией и реставрацией разрушенного в годы войны архитектурно-худо-

жественного наследия. Этот процесс требовал исследований в области восстановления, сохранения и изучения русского национального зодчества.

Прерванные войной диалоги о роли и развитии национальных особенностей в советской архитектуре вновь возобновились в 40-х гг. XX в. Несмотря на сложности послевоенного периода, вышло несколько книг таких архитекторов, как Н.Н. Воронина, Н.И. Брунова, Е.А. Ашепкова, В.П. Зубова и др., посвященных вопросам истории русского зодчества, отдельным проблемам, где так или иначе затрагиваются вопросы национальных особенностей и русского стиля.

В послевоенный период в архитектуре получает распространение творческая концепция, согласно которой для развития национальной архитектуры необходимо, чтобы классический ордер сочетался с национальными деталями, что вызвало огромное количество всевозможных архаических стилей. Анализ периодических изданий (от военных лет до 1954 г.) указывает на односторонность в разработке теории и практики проблемы национальных особенностей в архитектуре. Она заключалась в понимании самого процесса сложения национальных особенностей как искусственно создаваемых форм и приемов, переносимых в нашу эпоху из других эпох. Это, в свою очередь, порождало то стилизаторство, которое выдавалось за национальные отличия, национальную образность, наиболее адекватно выражавших богатство и многообразие социального и художественного содержания национальных республик. Подобное внимание лишь к одной стороне проблемы привело к серьезным функциональным и конструктивным просчетам, архаизации образов и форм сооружений.

Тенденция монументализма и возвращения к художественным приемам и образам прошлого, характерная для советской архитектуры послевоенного десятилетия, проявилась в связанной с архитектурой области монументально-декоративного искусства. Широко использовались традиционные приемы, в том числе размещение монумента в центре площади. Для этого периода характерно строго осевое симметричное построение ансамбля. Все больше примеров сочетания русского классицизма с национальными традициями (рис. 3), иногда приводивших к эклектике, по-

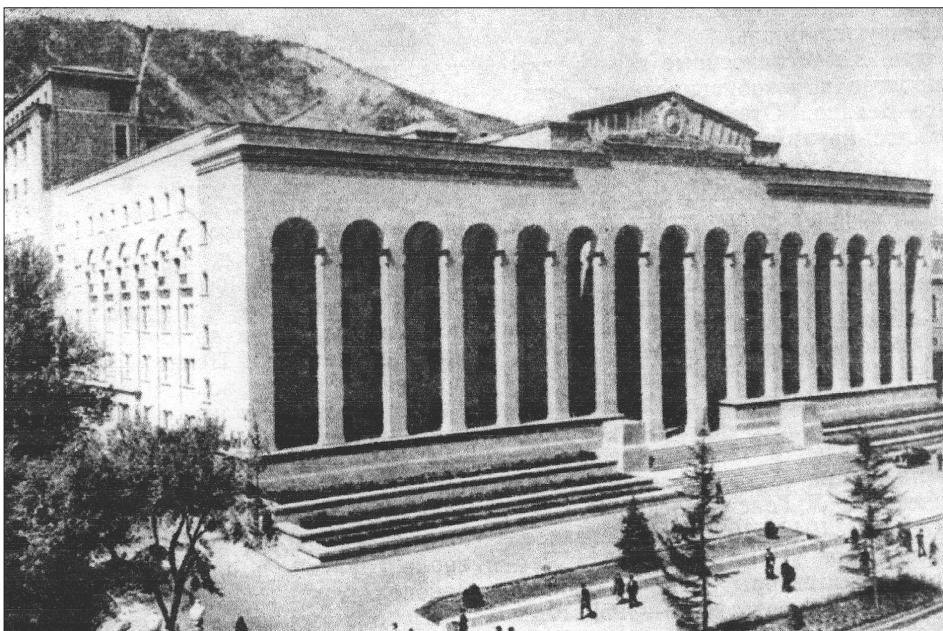


Рис. 3. Дом правительства Грузинской ССР (архит. В. Кокорин, Г. Лежава, 1938–1954 гг.)

являлось в республиках. В советской архитектуре господствовал сталинский ампир.

Творческая деятельность архитекторов была направлена на решение практических задач массового промышленного, жилищного и культурно-бытового строительства, на улучшение качества типовых проектов. Пятидесятые годы прошлого столетия привели к пересмотру творческих позиций и выработке новых теоретических концепций, в которой наметилось несколько толкований путей развития русского стиля от подчеркивания ускоренного стирания национальных особенностей до провозглашения их полного сохранения. Середина пятидесятых, став переломным этапом в советской архитектуре, принесла коренные изменения в отношения к проблеме национального своеобразия.

Четвертый этап (1955–1970 гг.) связан с мощным развитием научно-технического процесса. Появилась необходимость в осмыслиении новых требований развития, дискуссии по одной из самых животрепещущих проблем — новаторство и традиции в советской архитектуре на данном этапе ее развития, поднятой статьей Н. Коломийца в июне 1964 г. в киевском журнале «Строительство и архитектура» (на тему об интернациональном и национальном в советской архитектуре). В дальнейшем в дискуссии выступили многие авторы, которые, рассматривая различные аспекты проблемы, высказывались в целом за сосуществование интернациональных и национальных черт. Наряду с дискуссиями, публикуются статьи, книги, посвященные рассматриваемой проблеме (А.И. Зтов, Н. Брунов, Ю.С. Яралов и т.д.). Работы теоретиков архитектуры этого времени дали новый толчок в поиске образности в архитектуре и, как следствие, обращение к национальному наследию и русскому стилю.

Пятый этап (1970–1990 гг.) советской архитектуры связан с развитием советского функционализма, отразившимся, прежде всего, в теоретических работах и нереализованных проектах, на практике это период массового типового строительства жилья и универсальных сооружений, что привело к проблеме однообразия в застройке городов. Выходом из сложившейся ситуации было обращение к русскому национальному наследию и традициям, что стало в своем роде противовесом европейской тенденции к формированию постмодернизма на заре нового этапа развития России. Серьезное внимание русскому стилю уделяют Т.А. Славина, Е.А. Борисова, Т.П. Каждан, Е.А. Кириченко, А.В. Иконников и др. Русскую архитектуру рассматривали, исходя из анализа культурно-исторических процессов с целью выявления общих закономерностей развития архитектуры, обусловленных как развитием мировой истории, так и русской национальной спецификой. Такой культурологический анализ изменил традиционное представление о русском стиле.

Понятие стиля приобрело более широкий смысл как фактор историко-культурно-антропологической целостности, отражающий глубины человеческого бытия в мире. Осознание стиля как историко-культурного феномена привело к пониманию русского стиля в архитектуре как отражению совокупности традиций, черт, особенностей, свойственных русской культуре не в конкретный исторический период, а со временем формирования единой русской нации и по сей день, как некой форме выражения национального самосознания. Представления о русском стиле в архитектурной теории сформировали иное понимание национальных традиций, рассматривающихся как нечто динамичное, изменяемое во времени, дающее целостное представление о национальных особенностях народа.

да. Традиции формировались под влиянием природно-географических условий и климата, местных материалов, исторических условий, быта народа и его культурной общности.

Можно заключить, что период советской архитектуры характеризуют многообразие внутренних процессов развития национального зодчества, влияние со стороны других областей национальных культур, обращение к опыту других народов, что сформировало сложную динамичную картину русского стиля в архитектуре XX в. Развитие русского стиля проявилось, прежде всего, в формировании подходов к использованию традиций и приемов русской национальной архитектуры и его осмысливании. Сторонники «национального стиля» ориентировались на использование декоративных приемов и форм национальной (а зачастую народной) архитектуры, рассматривая их как символ национального престижа. Такой подход обеспечивал самобытность и неповторимость архитектуры. Сторонники новаторских течений рассматривали местные национальные особенности и традиции как основу развития современной архитектуры, пытаясь использовать опыт, накопленный поколениями, при строительстве новых сооружений. При формировании нового стиля архитекторы основывались на учете местного быта, климата, природного окружения, ориентируясь преимущественно на народное зодчество или на использование традиций русского классицизма, подразумевая под этим генезис русского стиля и классических тенденций, сохранив такие основные черты русского стиля, как монументальность, функциональность, пейзажность, живописность, ансамблевость, синтез искусств, отраженные в произведениях этого времени. Все это привело к формированию во второй половине XX в. нового понимания русского стиля в искусстве и архитектуре.

Произошедшие после распада СССР перемены в общественно-политической жизни страны повлекли за собой изменения в художественной жизни. Началось проникновение зарубежного искусства в Россию и русского искусства в художественную жизнь мирового общества. Все это не могло не отразиться на развитии национального в искусстве и архитектуре.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Из истории советской архитектуры 1926–1932 гг. [Текст] / Документы и материалы. Творч. объед. — М. : Наука, 1970. — 210 с.
2. Флиер, А.Я. Вопросы осмысливания архитектурного наследия [Текст] / А.Я. Флиер // Архитектурное наследие. — М., 1990. — Вып. 37. — С. 106–119.
3. Хан-Магомедов, С.О. Архитектура советского авангарда ; в 2 т. [Текст] / С.О. Хан-Магомедов. — М., 1996–1997.
4. Яровов, Ю.С. Проблема национального и интернационального в советской архитектуре : Автoref. дис. [Текст]. Акад. художеств СССР (Ин-т живописи, скульптуры и архитектуры им. И.Е. Репина). — М., 1966. — 52 с.

ОРЛОВА Е.Ю., ассист.

Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия

ВОЛЬСКАЯ Л.Н., д-р архитектуры, проф.

Новосибирская государственная архитектурно-художественная академия

Получено 19.05.09

Orlova E.Yu., assistant, Novosibirsk State Academy of Architecture and Art, Russia
Volskaya L.N., doctor of architecture, professor, Novosibirsk State Academy of Architecture and Art, Russia

THE FEATURES OF DEVELOPMENT OF RUSSIAN STYLE IN SOVIET ARCHITECTURE (1917–1990 years)

This article discusses the development features of Russian style in the historical periods of Soviet architecture reflecting the principle changes in the theoretical studies and determinations of practical tasks of architecture.

Key words: russian style, soviet architecture, domestic architecture, traditions.

REFERENCES

1. From the history of Soviet architecture 1926–1932 years, documents and materials, creative association [Text]. — M. : Science, 1970. — 210 p.
 2. Flier, A.Ya. Questions thinking architectural heritage [Text] / A. Ya. Flier // Architectural heritage. — Moscow, 1990. — Vol. 37. — P. 106–119.
 3. Khan-Magomedov, S.O. Architecture of the Soviet avant-garde in the 2-T [Text] / S.O. Khan-Magomedov. — M., 1996–1997.
 4. Yaralov, Yu.S. The problem of national and international in the Soviet Architecture : Author. disser. [Text] / Yu.S. Yaralov, USSR Academy of Arts (In-t alive, sculpt. and architects by Repina). — M., 1966. — 52 p.
-

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 550.834:551.24

Е.Ю. ГОШКО, С.М. ЗЕРКАЛЬ, Ю.С. ШЕВЧЕНКО

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОАКУСТИКЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Приводятся вычислительные алгоритмы, методика и результаты применения акустической инверсии инженерно-сейсмических данных для определения глубины залегания, рельефа и степени трещиноватости коренных пород на территории, отведенной под строительство, исходя из требований безопасности возведения и функционирования сооружений.

Ключевые слова: малоглубинные инженерно-сейсмические исследования, высокочастотная сейсмотелеметрическая система регистрации, метод общей глубинной точки, корреляция отраженных волн, зона деструкции горных пород, прочность оснований и фундаментов.

В настоящее время инженерные геофизические исследования являются обязательной частью изысканий при выполнении строительных работ и мониторинге состояния грунтов под фундаментами уже созданных сооружений.

Исследования приходится проводить в специфических условиях верхней части геологического разреза глубиной до 100 м (с учетом влияния нижележащего пространства), характеризующейся резкой вертикальной и горизонтальной изменчивостью свойств пород, невыдержанностью границ, а также значительными температурными градиентами, переменным составом заполнителя порового пространства, в частности, степенью водонасыщенности. В то же время при инженерно-сейсмических исследованиях предъявляются особые требования к точности построения границ слоев в грунте и оценке свойств пород. Важной особенностью, повышающей эффективность и достоверность интерпретации, является возможность оперативного контроля ее результатов буровыми и горными работами. Постоянное усложнение строительных сооружений, повышающее требования к достоверности и детальности восстановления геологической среды, стимулирует создание для нужд инженерной геофизики специальных методических приемов, способов обработки и интерпретации измеряемой информации.

Предметом исследования инженерной геофизики является геологическая среда. Под ней понимаются любые горные породы и почвы, слагающие верхнюю часть разреза литосферы, которые рассматриваются как многокомпонентные системы, находящиеся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека. В верхней части геологической среды преобладают внешние природные процессы, взаимосвязь которых с инженерно-технической деятельностью человека способствует

изменению состава, строения, физических свойств массива пород, а значит, искажению существующих или созданию новых локальных физических полей. Верхняя часть разреза — предмет исследования таких прикладных разделов инженерной геофизики, как инженерно-геологические изыскания под промышленное и гражданское строительство (изучение грунта под основаниями зданий и ответственных энергетических сооружений, железнодорожных и автомобильных дорог), мерзлотно-гляциологические (изучение условий залегания, строения и мощности мерзлых пород, подземных ледников), гидрогеологические (изучение основания плотин, трасс каналов, трубопроводов), а также почвенно-мелиоративные изыскания.

Для решения этих задач применяют малоглубинные геофизические методы, нацеленные на освещение строения верхней части разреза, глубины и рельефа залегания плотных коренных пород, изучение зон выветривания, погребенных долин, выявление и трассирование зон тектонических нарушений, обнаружение карстов, оползней, а также прогнозирование напряженного состояния и физико-механических свойств горных пород.

Геологические модели в инженерной геофизике. Эффективность изучения геологической среды геофизическими методами определяется не только правильным выбором комплекса методов, но и созданием адекватных геологических моделей среды. Под геологической моделью в инженерной геофизике понимают максимально приближенное к реальным условиям обобщенное и формализованное представление о геометрическом строении, внутренней структуре, распределении упругих свойств изучаемой среды. Представление это формируется в виде абстрактной геометрической модели с определенными физическими свойствами слагающих ее объектов.

Усложняющие особенности малоглубинных геологических моделей:

- непостоянство геометрии объектов и пластов, слагающих среду на малых глубинах;
- неблагоприятное соотношение мощности слоя и глубины его залегания: если это соотношение меньше единицы, то выделение слоя иногда становится ненадежным;
- резкие горизонтальная и вертикальная неоднородности физических свойств горных пород, особенно в приповерхностных слоях;
- большое влияние геологических и технических помех;
- наличие значительного количества инженерно-геологической и гидрогеологической информации, облегчающей установление либо функциональной, либо статистической, либо функционально-статистических связей между геофизическими параметрами среды, с одной стороны, и физико-механическими водными свойствами — с другой.

Основные модели геологических сред, для которых решены прямые и обратные геофизические задачи: а) горизонтально-слоистые среды с постоянными физическими свойствами в слоях, в том числе переслаивающиеся двух-, трехкомпонентные (например, песчано-глинистые); б) градиентные толщи с изменяющимися по глубине физическими свойствами пород; в) локальные объемные объекты и среды с крутослоистыми контактами, пластами с отличающимися от вмещающей среды физическими свойствами.

Современные методы математического и физического моделирования позволяют получать аналитические или статистические характеристики и для геологических моделей более сложных геометрических форм. Однако в силу некорректности обратной задачи геофизики интерпретация полученных материалов оказывается неоднозначной, и выбор используе-

мых геологических моделей практически ограничивается простыми, названными выше. Особенно неблагоприятны для изучения среды с малыми по сравнению с глубиной залегания геометрическими размерами и контрастными акустическими свойствами. Дополнительные трудности в инженерной геофизике связаны с техническими, природными и геологическими помехами. Выделение на их фоне полезных аномалий требует применения специальной аппаратуры с высокой помехозащищенностью и накоплением сигналов, а также статистических способов обработки информации.

Геофизические методы малоглубинных сейсмических исследований. Особенностью инженерной геофизики является широкое использование различных модификаций и видов сейсмоакустических исследований, что связано с разнообразием решаемых задач. В зависимости от диапазона частот используемых упругих колебаний выделяют сейсмический метод (частоты менее 500...1000 Гц) и геоакустический метод (частота свыше 500...1000 Гц).

В зависимости от условий проведения сейсмических и геоакустических работ в инженерной геофизике применяют следующие виды исследований: наземные (обычная сейсморазведка); в горных выработках (подземная сейсморазведка и подземная геоакустика); в скважинах (вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП), акустический каротаж); на акваториях (морская и речная сейсморазведка). При всех видах исследований, как правило, стремятся к регистрации волн разных типов (продольных, поперечных, обменных, поверхностных), поэтому инженерная сейсморазведка, по существу, многоволновая. В значительной степени методика сейсмических и геоакустических исследований определяется типом применяемых источников колебаний. В данном случае используются импульсные источники: механический удар, электрический разряд, газовая или пневматическая пушка.

Системы возбуждения и регистрации определяются типом используемых волн. Для получения P -волн (продольных) применяют систему $Z-Z$: вертикальный удар и вертикальный сейсмоприемник. Для записи обменных PS -волн (продольно-поперечных) указанную систему дополняют горизонтальными сейсмоприемниками, направленными вдоль профиля ($Z-X$). Для регистрации SH -волн (поперечных горизонтальной поляризации) используют систему $Y-Y$: горизонтальные сейсмоприемники ориентированы перпендикулярно к профилю. Так же ориентировано ударное воздействие.

В настоящее время наземные сейсмические исследования *методом многократных перекрытий* с последующим суммированием по *общей глубинной точке (ОГТ)* являются одним из наиболее информативных и востребованных дистанционных методов изучения строения и физических свойств горных пород как на значительной глубине, так и в верхней части разреза. Метод отраженных волн нашел широкое применение в инженерной сейсморазведке благодаря преимуществу отраженных волн перед преломленными по разрешающей способности, точности определения глубин, возможности прослеживать пласти с пониженнной скоростью упругих волн.

Использование цифровых сейсмостанций с накоплением позволяет регистрировать отраженные волны, приходящие с малых глубин. Для этого применяют многократное (до 50 крат) перекрытие, уменьшенный шаг $\Delta x = 0,5...5$ м, выносные пункты возбуждения, невзрывные источники. Важной проблемой является выбор шага сейсмоприемника по профилю Δx , поскольку надо учитывать требование как детальности (уменьше-

ние Δx), так и производительности работ (увеличение Δx). Значения Δx обычно составляют 1...2,5 м при изучении глубин до 30...50 м, а также при детализации изучаемых объектов. При глубинах 50...100 м и более шаг Δx составляет 5...10 м.

Акустическая инверсия разреза ОГТ — путь к созданию геологической модели среды и прогнозу ослабленных зон. После стандартной обработки сейсмических данных, устраниющей кратные, дифрагированные, обменные волны и волны-помехи, а также применения процедуры восстановления истинных амплитуд модель сейсмической трассы ОГТ может быть представлена в виде суммы поля полезных однократно отраженных волн $z(t)$ и малой аддитивной помехи $n(t)$: $y(t) = z(t) + n(t)$ [1].

Поле отраженных волн $z(t)$ представляет собой свертку формы возбужденной волны $S(t)$, нормированной к единице по максимальному значению, и дискретного временного ряда импульсных реакций среды $f(t)$: $y(t) = S(t) \cdot f(t) + n(t)$, т.е.

$$z(t) = S(t) \sum_k A_k \delta(t - \theta_k),$$

где A_k — амплитуда эффективного коэффициента отражения от k -й границы раздела слоев;

θ_k — положение k -й границы по временной шкале.

Импульсная трасса $f(t)$ несет информацию о полезной части поля (об однократно отраженных волнах) и с достаточной степенью надежности может быть представлена последовательностью коэффициентов отражения:

$$f(t) = A_k \delta(t - \theta_i).$$

Исходя из линейной модели сейсмической трассы изучение геометрического строения слоев геологической среды, ее поглощающих свойств удобно осуществлять путем выделения сейсмического импульса $S(t)$ из интерференционной трассы $z(t)$ и выполнения с его помощью акустической инверсии волнового разреза ОГТ к дискретному разрезу $f(t)$ эффективных коэффициентов отражения (ЭКО). Разрез ЭКО содержит множество отражающих площадок, позиционирующих свое положение по времени и по горизонтали вдоль профиля и наделенных динамической величиной — коэффициентом отражения.

Для осуществления акустической инверсии необходимо определить форму сейсмического импульса $S(t)$, являющегося ядром обратного оператора. Одним из способов может служить статистическое накапливание, реализованное в системе РеапакРД [2].

Поле отраженных волн в приповерхностной части разреза, изучаемого малоглубинной инженерной сейсмикой, является интерференционным из-за сложной геометрии объектов и пластов, слагающих среду на малых глубинах, резких горизонтальной и вертикальной неоднородностей физических свойств горных пород. Поэтому в качестве стационарного объекта, выделяемого в сейсмической трассе, с неизбежностью выступает суммарный пакет элементарных волн $\tilde{S}(t)$. Он является результатом синфазного суммирования отдельных волновых пакетов $S_n(t)$, выделенных на фрагментах трасс.

Под волновым пакетом $S_n(t)$ на трассе ОГТ понимается неразделимая интерференция группы отраженных, дифрагированных и рассеянных волн, имеющая начало и конец на сейсмической трассе. Суммарный волновой пакет $\tilde{S}(t)$ представляет собой обобщенную форму отдельных волн-

новых пакетов $S_n(t)$, формирующихся в пределах некоторой области гетерогенной среды. Алгоритм его вычисления подробно описан в [3].

Знание формы волнового пакета $\tilde{S}(t)$ позволяет построить алгоритм вычисления дискретного временного ряда импульсных реакций среды. В системе РеапакРД применяется инверсионный метод последовательных приближений. Поскольку сейсмическая трасса и восстановленный сигнал имеют ограниченный спектр, точное восстановление коэффициентов отражения по трассам ОГТ невозможно.

Любую модель распределения коэффициентов отражения, удовлетворяющую исходному сверточному уравнению, можно представить в виде

$$f(t) = K_s(t) + K_n(t),$$

где норма свертки коэффициентов $K_n(t)$ с сигналом меньше заданного порога; каждому классу функций, выделенному для поиска решения сверточного уравнения, соответствует свое распределение эффективных коэффициентов отражения $K_s(t)$.

В системе РеапакРД эффективные коэффициенты отражения находятся с помощью метода последовательных приближений на множестве функций с ограниченной вариацией из $W_2^1[0, T]$. Этому соответствует модель гладкого распределения коэффициентов отражения, минимизирующая функционал

$$\|Z - KS\|_{L_2} + \|K\|_{W_2^1}.$$

Для единства изображения и последующей обработки выводятся только экстремумы гладкого решения. Метод последовательных приближений оптимизирует расположение эффективных коэффициентов отражения в сейсмической трассе так, чтобы разность синтетической трассы и наблюденной была минимальной. При таком алгоритме вычисляется трасса ЭКО, наилучшим образом соответствующая сейсмической трассе в целом.

Импульсная реакция среды возникает при резком изменении акустической жесткости среды $\sigma_k = V_k \rho_k$, где V_k — скорость в k -м слое; ρ_k — плотность в k -м слое, т.е. на границах слоистой среды. В случае спокойного залегания слоев импульсные реакции хорошо коррелируются вдоль профиля, что позволяет в автоматическом режиме построить геометрический каркас акустических границ в среде.

Величина эффективного коэффициента отражения является весьма информативным динамическим параметром. Она значительно уменьшается в зонах разломов, повышенной трещиноватости пород [4], что позволяет использовать этот динамический параметр для прогноза ослабленных, трещиноватых зон. Сочетание нарушения корреляции границ и уменьшения амплитуды коэффициента отражения выступает признаком дислоцированности пород.

Применение акустической инверсии инженерно-сейсмических данных для определения положения кровли коренных пород и прогноза трещиноватых зон. В качестве примера полевого инженерно-сейсмического эксперимента приведем систему наблюдений многократных перекрытий, спроектированную и использованную для исследования строения грунта строительной площадки на глубину до 50 м для уточнения глубины залегания плотных коренных пород, а также обнаружения в них ослабленных, разломных зон (рис. 1). При проведении сейсмических работ на этом профиле источником колебаний служил вертикальный удар молота весом 16 кг по металлической пластине. Для исключения влияния посторонних шумов от механизмов, действующих на

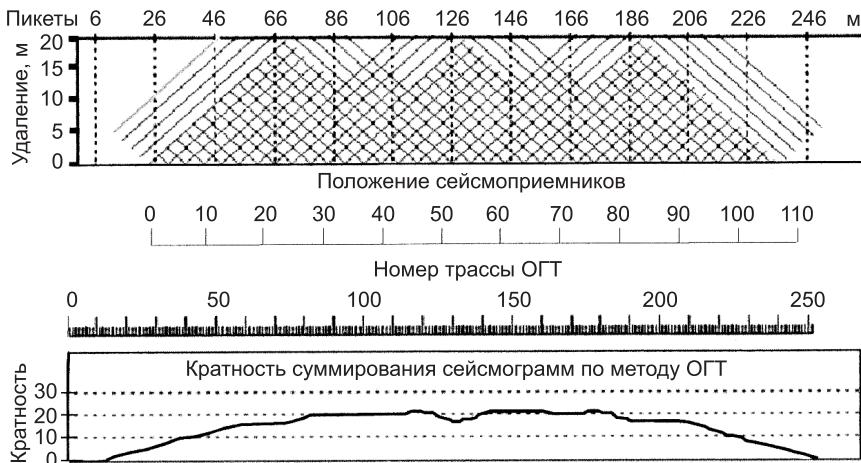


Рис. 1. Система наблюдений по методу ОГТ при инженерно-сейсмических исследованиях грунта строительной площадки на глубину до 50 м

строительной площадке, было применено 16-кратное повторение возбуждений в каждой точке и соответственно 16-кратное накапливание записей. Сейсмическая коса состояла из 48 сейсмоприемников с расстоянием между ними 2 м и максимальным удалением от центрального пункта возбуждения 48 м, кратность суммирования — 24 канала, расстояние между трассами — 1 м.

Полученные в полевом эксперименте сейсмограммы были суммированы по методу ОГТ в системе ProMAX. Граф обработки отраженных волн был направлен, в первую очередь, на фильтрацию данных в оптимальном частотном диапазоне от 30...40 до 100...120 Гц и подавление различного рода линейных волн-помех. Нулевой уровень приведения сейсмического разреза ОГТ был выбран равным максимальной отметке рельефа дневной поверхности вдоль профиля. При этом скорость замещения равнялась 400 м/с.

Скоростной анализ проведен в интерактивном режиме по сборкам из 15 ансамблей ОГТ с шагом 20 м и рассчитанным по ним вертикальным спектрам.

Суммированные данные также подвергались некоторым процедурам обработки, таким как переменная по времени полосовая фильтрация и ослабление случайного шума. Минимально-фазовая предсказывающая деконволюция применялась к разрезу ОГТ с целью повышения вертикальной разрешенности записи и выравнивания частотного диапазона. Для ослабления нерегулярного шума в полезной полосе частот была использована процедура FX-деконволюции. Итоговый временной сейсмический разрез приведен на рис. 2.

На волновом сейсмическом разрезе хорошо прослеживается высокочастотный пакет отражений, фиксируемый во временном интервале 50...100 мс. Источник ярких отражений соответствует кровле плотных коренных пород. По данным бурения скважин, она находится на глубине 40...50 м от поверхности, а средняя скорость в верхнем слое грунта составляет 1700...2000 м/с. В условиях волновой интерференции, типичной для реальных разрезов ОГТ, время отражения от кровли коренных пород не удается установить с достаточной точностью, и соответственно анализ динамики сейсмического отклика является лишь приблизительным. Поэтому количественно охарактеризовать рельеф кровли коренных

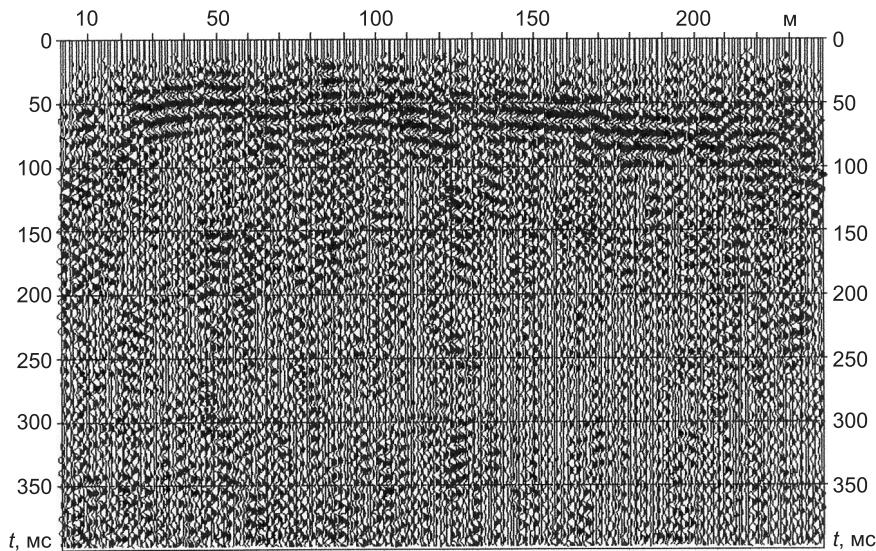


Рис. 2. Временной сейсмический разрез отраженных волн по методу ОГТ

пород, а также спрогнозировать возможные ослабленные, трещиноватые зоны затруднительно.

Для решения этих вопросов была проведена акустическая инверсия итогового временного инженерно-сейсмического разреза, показанного на рис. 2. Статистическим суммированием волновых пакетов, выделенных на разрезе ОГТ, была получена форма $\tilde{S}(t)$ элементарного волнового пакета (рис. 3).

Элементарный волновой пакет имеет правильную минимально-фазовую моногармоническую форму. Время вступления волны 30 мс, кажущаяся длительность 70 мс. Амплитудный спектр сосредоточен в окрестности основной частоты 100 Гц, соответствующей периоду 10 мс. Как

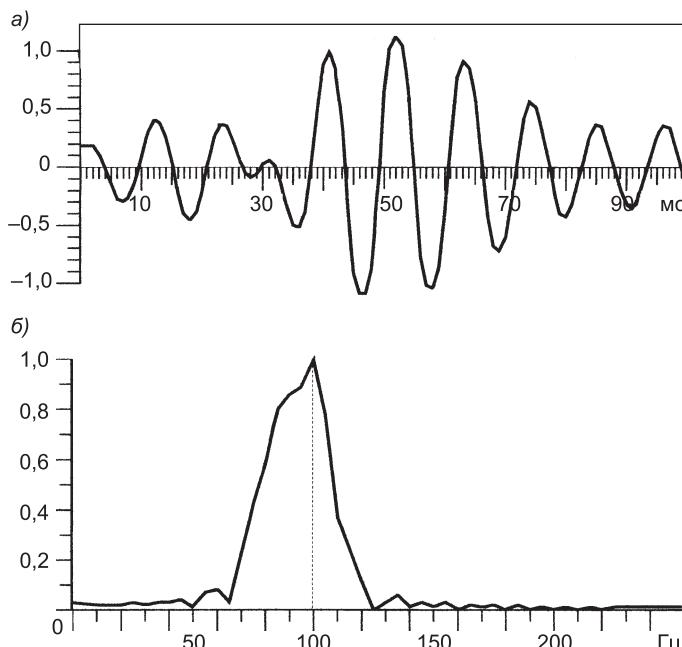


Рис. 3. Форма элементарного волнового пакета на инженерно-сейсмическом разрезе

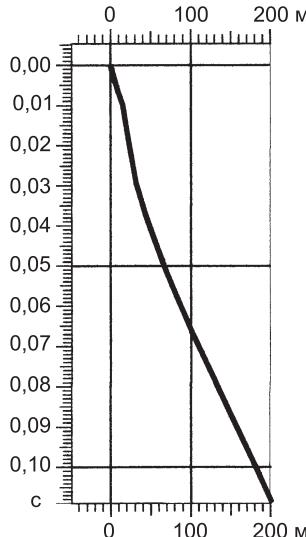


Рис. 4. Вертикальный годограф перевода временной шкалы в глубинную

известно, надежно разделить интерференцию волн можно при разнице их вступлений, больших половины периода основной гармоники. В данном случае это составляет 5 мс или (при средней скорости в среде в верхней части разреза 1200...1600 м/с), длина волны составляет 2...4 м, что обеспечивает достаточную точность разделения границ слоев по глубине для решения инженерно-строительных задач.

Вычисленный элементарный волновой пакет был использован для преобразования волнового разреза ОГТ в разрез эффективных импульсных реакций среды ЭКО. Для представления его в масштабе глубин был использован вертикальный годограф, составленный по априорным геологическим данным (рис. 4).

Результат акустической инверсии инженерно-сейсмического разреза ОГТ, проведенной с помощью вычисленного элементарного волнового пакета, представлен на рис. 5. На разрезе ЭКО импульсные реакции среды показаны суб-

горизонтальными линиями, снабженными вертикальными штрихами, направленными относительно основной линии вверх или вниз. Длина вертикального штриха показывает величину коэффициента отражения, а направление — положительный или отрицательный знак импульсной реакции. Такая форма отображения информации позволила совместить ясное изображение геометрии слоев и динамическую выраженность их акустических реакций. Яркий пакет отражений, замеченный ранее на сейсмическом разрезе ОГТ (см. рис. 2) и предположительно связываемый с кровлей коренных пород, трансформировался в пачку слоев темного цвета с хорошо читающимся строением, рельефом кровли и заметно изменяющейся динамикой. График изменения динамической величины ко-

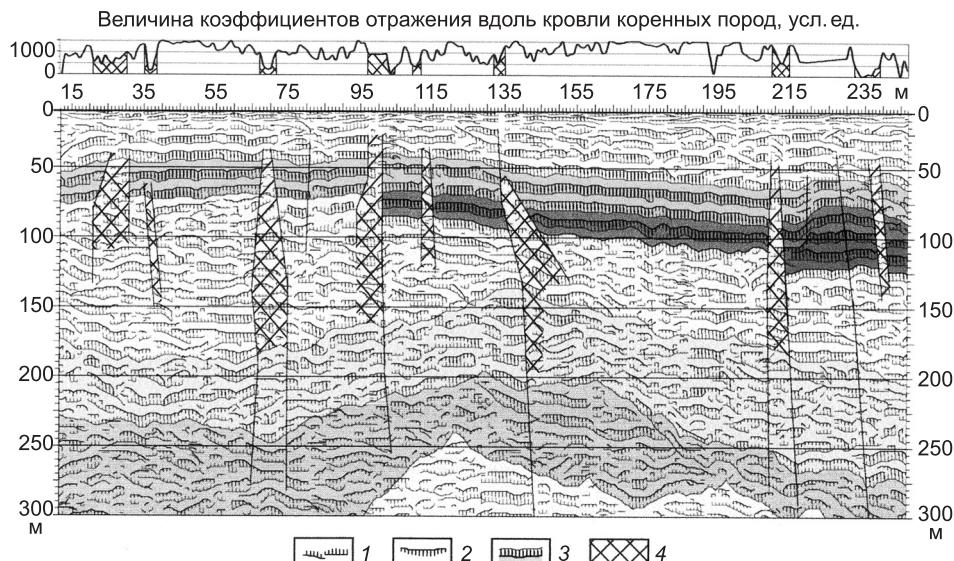


Рис. 5. Акустический разрез и его интерпретация для инженерно-строительных целей
 1 — акустическая граница с положительной импульсной реакцией на увеличение жесткости среды;
 2 — акустическая граница с отрицательной импульсной реакцией на уменьшение жесткости среды;
 3 — кровля коренных пород; 4 — разломные зоны

эффективентов отражения от кровли коренных пород вдоль профиля показан сверху над разрезом ЭКО. Сопоставление этого графика с акустическим разрезом убеждает в соответствии между положением разломных зон в коренных породах и уменьшением величины импульсной реакции от их кровли. Разломные зоны были выделены на разрезе ЭКО в основном по геометрическому признаку: нарушению прослеживаемости границ, их вертикальному смещению. Хорошее совпадение геометрического и динамического признаков в обозначенных ослабленных зонах придает им большую достоверность. Рельеф границы коренных пород может быть прорассирован по акустическому разрезу с точностью до метра по глубине, что соответствует требованиям к точности построений при проектировании строительных работ.

Вывод. Методика акустической инверсии инженерно-сейсмических данных для целей проектирования строительства отличается общностью и универсальностью. Область ее применения охватывает как малоглубинные инженерные исследования¹, так и средние глубины (разведочная геофизика²) и исследования земной коры и верхней мантии³.

Традиционно внимание геофизиков было сосредоточено в основном на решении поисковых задач, в частности, на нефть и газ, а также на прогнозе сейсмоопасных участков земной поверхности, что, естественно, имело свое отражение в параметрах аппаратурного обеспечения, настроенного на эти глубины. В настоящее время современное техническое оснащение сейсмических работ позволяет генерировать и регистрировать зондирующие сигналы на высоких частотах в диапазоне от 70 до 150 Гц, нетрадиционном для обычных сейсмических работ. Это открывает возможности для детальных геолого-геофизических и инженерных построений по данным сейсмических исследований с точностью до первых метров. Эволюция сейсмического эксперимента и, как следствие, инновация обрабатывающих вычислительных комплексов позволяют перейти в инженерной сейсмике на качественно более высокий уровень выполнения работ. Методика акустической инверсии сейсмических данных, описанная в статье, представляет собой теоретическую разработку, доведенную до практики в условиях современной инженерной сейсмики. Получаемое в результате ее применения акустическое изображение верхней части геологического разреза имеет большее разрешение, является более точным и удобным для геологической интерпретации и восстановления физических характеристик грунта на строительной площадке, в частности для решения практической задачи строительного проектирования: определения положения кровли коренных пород и прогноза ослабленных, трещиноватых зон.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Троян, В.Н. Статистические методы обработки сейсмической информации при исследовании сложных сред [Текст] / В.Н. Троян. — М. : Недра, 1982. — 184 с.

¹ Гошко Е.Ю., Зеркаль С.М., Мальцев А.И. Диагностика ослабленных зон в грунте строительной площадки по данным малоглубинного инженерно-сейсмического эксперимента // Изв. вузов. Строительство. 2009. № 10 (610). С. 88–94.

² Рудницкая Д.И., Корнилов М.В., Гошко Е.Ю., Стражникова И.Н. Опыт использования системы РЕАПАК при изучении месторождений нефти и газа в Западной Сибири // Геофизика. 1996. № 3. С. 19–24.

³ Гошко Е.Ю., Зеркаль С.М. Метод изучения пространственно-зависимого затухания энергии сейсмических волн в земной коре / Докл. РАН: МАИК «Наука-Интерperiодика». 2008. Т. 418, № 3. С. 1–5.

2. А. с. № 990128. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ / Д.И. Рудницкая, Д.Н. Горячев, М.В. Корнилов, Е.Ю. Гошко и др.: Регистр. 12.03.99 г.
3. Пат. № 2324205 (RU). Способ обработки сейсмических данных / Е.Ю. Гошко, В.М. Марков, И.Н. Стражникова, О.М. Сагайдачная, А.С. Сальников ; Опубл. 10.05.2008 г. ; Бюл. № 13.
4. Кузнецов, О.Л. Экспериментальные исследования. (Сейсмоакустика пористых и трещиноватых сред) [Текст] / О.Л. Кузнецов, И.А. Чиркин, Г.В. Курьянов и др. — М. : Гос. науч. центр РФ — ВНИИГеосистем. — 2004. — Т. 2. — 361 с.

*ГОШКО Е.Ю., канд. техн. наук, доц.; E-mail: goshco@mail.ru
ФГУП «СНИИГГиМС», Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

*ЗЕРКАЛЬ С.М., д-р техн. наук, проф.; E-mail: zerkal@ngs.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

*ШЕВЧЕНКО Ю.С., асп., инж.
ФГУП «СНИИГГиМС», г. Новосибирск*

Получено после доработки 21.04.10

Goshko E.Yu., candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: goshco@mail.ru, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources Federal State Unitary Enterprise, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Zerkal S.M., doctor of technical sciences, professor; E-mail: zerkal@ngs.ru, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Shevtchenko Yu.S., post-graduate student, engineering; Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources Federal State Unitary Enterprise, Novosibirsk, Russia

COMPUTING MODELLING IN ENGINEERING SEISMOACOUSTICS AT DESIGNING OF BUILDING CONSTRUCTIONS

Computing algorithms, technique and results of application of acoustic inversion of engineering-seismic data for depth definition bedding, a relief and degree jointing radical breeds in the territory intended under building, proceeding from safety requirements of erection and functioning of constructions are resulted.

Key words: shallow seismic investigation, seismo-telemetering station, method of common depth point, reflection tracking, a zone of destruction of mountain rocks, durability of foundation.

REFERENCES

1. Trojan, V.N. Statistical methods of processing of the seismic information at research of difficult environments [Text] / V.N. Trojan. — Moscow : Nedra, 1982. — 184 p.
2. The copyright certificate № 990128 The certificate on official registration of the computer program / D.I. Rudnitskaja, D.N. Gorjachev, M.V. Kornilov, E.Yu. Goshko, etc. ; Registration of 12.03.99.
3. Patent № 2324205 (RU) Technique processing of seismic data / E.Yu. Goshko, V.M. Markov, I.N. Strazhnikova, O.M. Sagajdachnay, A.S. Salnikov : it is published. 10.05.2008 ; Issue N 13.
4. Kuznetsov, O.L. Experimental researches. (Seismoacoustics porous and fractured ground) [Text] / O.L. Kuznetsov, I.A. Chirkin, G.V. Kurjanov, etc. — Moscow : State centre of science of the Russian Federation — VNIIGeosistem. — 2004. — Vol. 2. — 361 p.

УДК 539.215

А.Н. ХАРХАРДИН

ПОТЕНЦИАЛЫ И СИЛЫ ПАРНОГО МЕЖМОЛЕКУЛЯРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АТОМОВ, МИКРО- И НАНОЧАСТИЦ

Приводятся выражения для потенциалов и сил парного межмолекулярного взаимодействия атомов, микро- и наночастиц дисперсного минерального сырья, а также зависимости для их координационного числа.

Ключевые слова: дисперсные материалы, микро- и наночастицы, межмолекулярное взаимодействие, потенциалы и силы, координационное число.

Известно несколько частных выражений для потенциальной энергии парного взаимодействия молекул разряженных газов и жидких металлов [1]. Необходимость их вызвана результирующей возможностью использования данного подхода в определении топологических состояний, структуры и свойств вещества с минимумом потенциальной энергии атомно-молекулярной консолидации. Природа межмолекулярного взаимодействия электрическая. Так, с уменьшением плотности упаковки молекул (атомов) в консолидации, т.е. с увеличением расстояния между ними, дальнодействующие силы отталкивания возрастают, а близкодействующие силы притяжения уменьшаются. Минимум потенциальной энергии взаимодействия атомов определяется равновесным расстоянием между ними, при котором силы притяжения компенсируются силами отталкивания.

Особенность взаимодействия микро- и наночастиц дисперсных материалов заключается в том, что с уменьшением их размера в процессе измельчения минерального зернистого сырья увеличивается его поверхностная энергия. В результате возрастают как силы притяжения, что определяется агрегированием микро- и наночастиц, так и силы отталкивания между ними — дисперсный слой становится все более рыхлым и с меньшей плотностью их упаковки.

В коллоидных системах и в растворах высокомолекулярных соединений силы притяжения между глобулами обратно пропорциональны кубу, а силы отталкивания — шестой степени расстояния между ними [2].

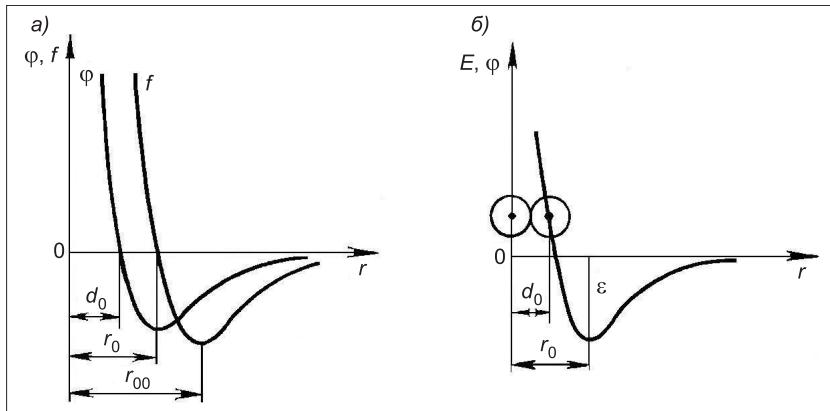
Выражения для потенциалов и сил парного межмолекулярного взаимодействия микро- и наночастиц дисперсных материалов, имеющих широкое использование в быту и технике, отсутствуют. Они необходимы для определения топологического состояния и свойств дисперсных материалов, нового подхода к этим системам с целью развития теории и практики их использования. В данной работе этот пробел в науке в какой-то мере восполняется построением моделей парного взаимодействия частиц дисперсных материалов на основе изложенной выше их особенности и анализа известных потенциалов парного межмолекулярного взаимодействия атомов.

Запишем известное выражение для потенциала парного взаимодействия неполярных молекул (атомов) в виде

$$\varphi(r) = 4\epsilon \left[\left(\frac{d_0}{r} \right)^{12} - \left(\frac{d_0}{r} \right)^6 \right]. \quad (1)$$

Записанный в такой форме потенциал часто называют потенциалом Леннарда — Джонса либо потенциалом 6–12. В данном потенциале положительная потенциальная энергия отталкивания двух молекул меняется с изменением расстояния быстрее, чем отрицательная энергия притяжения. Графическая зависимость полной потенциальной энергии $\varphi(r) = \varphi_+(r) + \varphi_-(r)$ от расстояния между молекулами имеет минимум (потенциальную яму) при $r = r_0$. «Потенциальная яма» межмолекулярного взаимодействия определяется двумя параметрами: глубиной ϵ и так называемым нулевым диаметром молекул (атомов) d_0 (см. рисунок). Силы межмолекулярного взаимодействия определяются производной $f = -d\varphi / dr$. Для потенциала 6–12 получим

$$f(r) = 4\epsilon \left(-12 \frac{d_0^{12}}{r^{13}} + 6 \frac{d_0^6}{r^7} \right) = 24\epsilon \left(\frac{d_0^6}{r^7} - 2 \frac{d_0^{12}}{r^{13}} \right). \quad (2)$$



Зависимость потенциальной энергии и сил межмолекулярного взаимодействия (а) от расстояния между молекулами (микро- и наночастицами); ϵ — глубина потенциальной ямы; d_0 — так называемый нулевой диаметр молекул (б)

Сопоставление зависимостей (1) и (2), представленных их графиками, дано на рисунке. При $r > r_0$ силы межмолекулярного взаимодействия отрицательные (притяжение молекул), при $r < r_0$ силы взаимодействия положительные (отталкивание молекул), в точке $r = r_0$ при $f(r) = 0$ силы притяжения компенсируются силами отталкивания. Силы притяжения максимальны при $r = r_{00}$ ($d^2\varphi / dr^2 = 0$):

$$\frac{d^2\varphi}{dr^2} = \frac{df}{dr} = 24\epsilon \left(-7 \frac{d_0^6}{r^2} + 2 \cdot 13 \frac{d_0^{12}}{r^{14}} \right) = 24\epsilon \left(26 \frac{d_0^{12}}{r^{14}} - 2 \frac{d_0^6}{r^2} \right). \quad (3)$$

Из выражений (2) и (3) при $f(r) = 0$ и $df/dr = 0$ легко найти

$$r_0 = 2^{\frac{1}{6}} d_0 = 1,1225 d_0, \quad r_{00} = (26/6)^{\frac{1}{6}} d_0 = 1,245 d_0.$$

Принимая для металлов плотность упаковки атомов в кристаллической фазе $\eta_{kp} = 0,74048$ в точках $r = r_0$ и $r = r_{00}$, получим плотность упаковки атомов, разъединенных при плавлении на данные расстояния:

$$\eta_0 = 0,74048 / 1,1225^3 = 0,52,$$

$$\eta_{00} = 0,74048 / 1,245^3 = 0,384.$$

Состояние и структура металла при данных значениях η_0 и η_{00} определяют жидкую и газовую фазы (жидкую фазу вблизи температуры кипения). Координационное число атомов при этом будет равно:

$$Z = \frac{Z_{kp}}{\eta_{kp}} \eta_0 = \frac{12}{0,74048} 0,52 \leq 8,5,$$

$$Z = \frac{Z_{kp}}{\eta_{kp}} \eta_0 = \frac{12}{0,74048} 0,384 \leq 6,2,$$

где Z_{kp} , η_{kp} — координационное число и плотность упаковки элементов структуры в твердой (кристаллической) фазе.

Запишем известный также потенциал 3–9 в виде

$$\varphi(r) = a\epsilon \left[\left(\frac{d_0}{r} \right)^9 - \left(\frac{d_0}{r} \right)^3 \right]. \quad (4)$$

Выражение для сил взаимодействия при этом будет иметь вид

$$f(r) = 3a\epsilon \left[\left(\frac{d_0}{r^4} \right)^3 - 3 \left(\frac{d_0}{r^{10}} \right)^9 \right], \quad (5)$$

где a — экспериментальная постоянная.

$$\frac{df}{dr} = 6a\epsilon \left(15 \frac{d_0^9}{r^{11}} - 2 \frac{d_0^2}{r^5} \right). \quad (6)$$

Из выражений (5) и (6) легко найти

$$r_0 = 3^{\frac{1}{6}} d_0 = 1,2d_0, \quad r_{00} = 7,5^{\frac{1}{6}} d_0 = 1,4d_0,$$

$$\eta_0 = 0,74048 / 1,2^3 = 0,4285, \quad \eta_{00} = 0,74048 / 1,4^3 = 0,27,$$

$$Z = 6,9, \quad Z = 4,4.$$

В процессе сухого механического измельчения материалов и горных пород наступает момент, когда уменьшение размера частиц приостанавливается. Часть механической энергии измельчения идет на разрушение агрегации микрочастиц. Плотность упаковки частиц в дисперсном слое в точке начала их агрегирования характеризуется критической величиной η_c . Она зависит от плотности упаковки η_1 взаимодействующих зерен измельчаемого зернистого материала [3]:

$$\eta_c \leq \eta_1^3, \quad \eta_c \leq \eta_1^{\frac{10}{3}} \quad \text{и} \quad \eta_c \leq \eta_1^5.$$

Так, при $\eta_1 = 0,64029$ $\eta_c = 0,2625$ и $\eta_c = 0,22625$, а при $\eta_1 = 0,634053$ $\eta_c = 0,2549$ и $\eta_c = 0,219$.

Полученные величины критических плотностей упаковки и координационные числа микрочастиц в дисперсном слое и в агрегациях соответствуют критическому состоянию вещества:

$$Z = \frac{Z_{kp}}{\eta_{kp}} \eta_c = \frac{0,64029}{0,2625...0,22625} 8,8 \leq 3,6...3,1,$$

$$Z = \frac{Z_{kp}}{\eta_{kp}} \eta_c = \frac{0,634053}{0,2549...0219} 8,5 \leq 3,42..2,49,$$

где величины 8,8 и 8,5 — координационные числа, соответствующие наибольшим значениям плотности случайной упаковки сферических зерен $\eta_1 = 0,64029$ и $\eta = 0,634053$ соответственно.

При мокром механическом измельчении материалов и горных пород размер и плотность упаковки микрочастиц уменьшаются по сравнению с сухим способом. Плотность упаковки микро- и наночастиц в дисперсном слое согласно индексу ее амплитуды может достигать второй критической величины [3]:

$$C_3 = \eta_c \leq 0,2549\eta_1^2 \leq 0,2549 \cdot 0,634053^2 \leq 0,1025,$$

$$C_3 = \eta_c \leq \eta_1^5 \leq 0,64029^5 \leq 0,1076.$$

Обе величины (0,2549 и 0,1) критической плотности упаковки микро- и наночастиц при сухом и мокром механическом измельчении материалов вытекают непосредственно из общей закономерности структурной топологии, преобразованной к виду [3]

$$\eta \leq \frac{1}{10(\sqrt{3}-1)^p}. \quad (7)$$

Так, при $p = 3$ и $p = 0$ из выражения (7) получают соответственно $\eta_c \leq 0,2549$ и $\eta_c \leq 0,1$.

По показателям степени 3 и 5 при η_1 в выражениях для критических плотностей упаковки микро- и наночастиц в дисперсном слое можно восстановить потенциал их парного взаимодействия в виде

$$\varphi(r) = a\varepsilon \left[\left(\frac{d_0}{r} \right)^4 - \left(\frac{d_0}{r} \right)^2 \right]. \quad (8)$$

Из этого потенциала 2–4 силы электростатического и электрического взаимодействия микро- и наночастиц при $f = d\varphi / dr$ будут складываться из соответствующих членов выражения:

$$f(r) = 2a\varepsilon \left(\frac{d_0^2}{r^3} - 2 \frac{d_0^4}{r^5} \right). \quad (9)$$

При $d\varphi / dr = f(r) = 0$ из выражения (9) получим $r_0 = 2^{\frac{1}{2}}d_0 = 1,414d_0$.

Силы притяжения минимальны, а силы отталкивания микро- и наночастиц в слое максимальны при $r = r_{00}$ и $d^2\varphi / dr^2 = 0$. Из выражения (9) легко получить

$$\frac{df}{dr} = 2a\varepsilon \left(10 \frac{d_0^4}{r^6} - 3 \frac{d_0^2}{r^4} \right). \quad (10)$$

При $df / dr = 0$ из выражения (10) легко найти $r_{00} = (10/3)^{\frac{1}{2}}d_0 = 1,826d_0$. При этом критические плотности упаковки микро- и наночастиц в дисперсном слое будут равны соответственно:

$$\eta_0 = 0,64029 / 2^{\frac{3}{2}} \leq 0,2264,$$

$$\eta_0 = 0,64029 / (10/3)^{\frac{3}{2}} \leq 0,1052.$$

Координационное число микро- и наночастиц в дисперсном слое, если бы процесс измельчения материала проводить сухим способом, было бы равно:

$$Z \leq 8,8(0,64029 / 0,2264) \leq 3,11,$$

$$Z \geq 8,5(0,64029 / 0,1052) \geq 1,46.$$

Столь низкие значения $\eta_c = 0,1052$ и $Z = 1,46$ для сухого способа не выполняются, а при мокром способе измельчения они возрастают в связи с экранированием зарядов на поверхности наночастиц адсорбционным слоем жидкой фазы, образованием водородных связей и двойного электрического слоя на наночастицах.

Восстановим потенциал парного взаимодействия для коллоидных и высокомолекулярных глобул и золей силикатных систем, учитывая изложенную выше зависимость для них сил взаимодействия в виде

$$\varphi(r) = a\epsilon \left[\left(\frac{d_0}{r} \right)^5 - \left(\frac{d_0}{r} \right)^2 \right]. \quad (11)$$

Отсюда при $f(r) = d\varphi/dr$ получим искомую зависимость для сил притяжения и отталкивания частиц:

$$f(r) = 2a\epsilon \left(5 \frac{d_0^2}{r^3} - \frac{5}{2} \frac{d_0^5}{r^6} \right). \quad (12)$$

При $f(r) = 0$ из (12) легко найти $r_0 = (5/2)^{\frac{1}{3}}d_0 = 1,357d_0$.

Для сил наибольшего отталкивания частиц при df/dr получим

$$\frac{df}{dr} = 6a\epsilon \left(5 \frac{d_0^5}{r^7} - 3 \frac{d_0^2}{r^4} \right). \quad (13)$$

При $df/dr = 0$ из (13) находим $r_{00} = 5^{\frac{1}{3}}d_0 = 1,71d_0$.

Принимая для твердой фазы кристаллизующихся полимеров $\eta_t = 0,681 \dots 0,71$ [2], получим

$$\eta_c = 0,681/1,357^3 = 0,2724 \quad \text{и} \quad \eta_c = 0,681/1,71^3 = 0,1362.$$

Принимая в выражении (7) $p = 1$, получим аналогичное значение $\eta_c = 0,1366$.

И, наконец, увеличим меньший показатель степени в потенциале 2–5 (11) и запишем его в виде потенциала 3–5:

$$\varphi(r) = a\epsilon \left[\left(\frac{d_0}{r} \right)^5 - \left(\frac{d_0}{r} \right)^3 \right]. \quad (14)$$

Для сил межмолекулярного взаимодействия при $f(r) = d\varphi/dr$ из (14) получим

$$f(r) = a\epsilon \left(3 \frac{d_0^3}{r^4} - 5 \frac{d_0^5}{r^6} \right). \quad (15)$$

При $f(r) = 0$ из (15) получим $r_0 = (5/3)^{\frac{1}{2}}d_0 = 1,219d_0$.

Для сил максимального отталкивания и минимального притяжения частиц при df/dr из выражения (15) получим

$$\frac{df}{dr} = 6a\epsilon \left(5 \frac{d_0^6}{r^7} - 4 \frac{d_0^2}{r^5} \right). \quad (16)$$

При $df/dr = 0$ из (16) легко найти $r_{00} = (5/2)^{\frac{1}{2}} d_0 = 1,581 d_0$. Критические плотности упаковки микро- и наночастиц при этом будут равны:

$$\eta_c = 0,74048 / 1,581^3 = 0,1873, \quad \eta_c = 0,74048 / 1,291^3 = 0,344.$$

Из выражения (7) при $p = 2$ получим одну из этих величин — $\eta_c = 0,187$.

Как было показано выше, координационное число Z зависит от сил межмолекулярного взаимодействия атомов, микро- и наночастиц. Приведем полученные выражения для Z с учетом сил их взаимодействия для соответствующих потенциалов:

— для потенциалов 6–12 и 3–9 (жидкие среды и расплавы)

$$Z = 16,2\eta - \frac{1-2\eta^2}{4(1-\eta)^{\frac{1}{2}}} + 4,5\eta^8 - (1-27\eta^{13}),$$

$$Z = 16,2\eta - \frac{1-2\eta^3}{6(1-\eta)^{\frac{1}{3}}} + 3\eta^5 - (1-7,69\eta^{10}),$$

где

$$\frac{(\eta^2\eta^7)'}{2} = \frac{(\eta^9)'}{2} = 4,5\eta^8, \quad \frac{(\eta^2\eta^4)'}{2} = \frac{(\eta^6)'}{2} = 3\eta^5,$$

«'» — знак производной с учетом кулоновской (электростатической) силы взаимодействия частиц;

— для потенциала 2–4 (дисперсные материалы)

$$Z = 13,74\eta - \frac{1-2\eta^2}{4(1-\eta)^{\frac{1}{2}}} + (1-2,5\eta^4) - (1-4,6\eta^5),$$

$$Z = 13,74\eta - \frac{1-2\eta^2}{4(1-\eta)^{\frac{1}{2}}} + 2,5\eta^4 - (1-6,1\eta^5);$$

— для потенциала 2–5 (глобулярные и коллоидные системы)

$$Z = \frac{10}{0,6981} \eta - \frac{1-2\eta^{\frac{5}{2}}}{5(1-\eta)^{\frac{2}{5}}} + 2,5\eta^4 - (1-5\eta^6),$$

$$Z = 14,32\eta - \frac{1-2\eta^{\frac{5}{2}}}{5(1-\eta)^{\frac{2}{5}}} + (1-2,5\eta^4) - (1-4,62\eta^6),$$

$$Z = 13,74\eta - \frac{1-2\eta^{\frac{5}{2}}}{5(1-\eta)^{\frac{2}{5}}} + (1-2,5\eta^4) - (1-7,6\eta^6),$$

$$Z = 13,74\eta - \frac{1-2\eta^{\frac{5}{2}}}{5(1-\eta)^{\frac{5}{2}}} + 2,5\eta^4 - (1-9,92\eta^6);$$

— для потенциала 3–5

$$Z = 13,74\eta - \frac{1-2\eta^{\frac{5}{3}}}{\frac{10}{3}(1-\eta)^{\frac{3}{5}}} + (1-3\eta^5) - (1-5\eta^6),$$

$$Z = 13,74\eta - \frac{1-2\eta^{\frac{5}{3}}}{\frac{10}{3}(1-\eta)^{\frac{3}{5}}} + 3\eta^4 - (1-10,22\eta^6).$$

Эти выражения для пределов значений Z сведем к общему виду (где $m > n$):

$$Z = \frac{Z_{\tau}}{\eta_{\tau}}\eta - \frac{1-2\eta^{\frac{m}{n}}}{2\frac{m}{n}(1-\eta)^{\frac{n}{m}}} + \frac{(\eta^2\eta^{n+1})'}{2} - (1-x\eta^{m+1}), \quad (17)$$

$$Z = \frac{Z_{\tau}}{\eta_{\tau}}\eta - \frac{1-2\eta^{\frac{m}{n}}}{2\frac{m}{n}(1-\eta)^{\frac{n}{m}}} + [1 - (\eta^2\eta^{n+1})'/2] - (1-y\eta^{m+1}), \quad (18)$$

где Z_{τ} , η_{τ} — координационное число твердой (кристаллической) фазы и плотность упаковки в ней элементов структуры (атомов, молекул, микроДиано частиц);

η — плотность упаковки элементов структуры в какой-либо фазе (в твердой, жидкой, псевдотвердой, псевдожидкой или при критическом состоянии вещества).

Показатели x и y вычисляются при определенном значении η_{τ} и равенстве нулю последних трех членов выражений (17) и (18); для дисперсных систем используют выражение (18), а для расплавов металлов и других систем — выражение (17).

Вывод. Таким образом, для различных дисперсных систем и уровней дискретности вещества можно подобрать соответствующий вид потенциала и получить выражение для сил парного межмолекулярного взаимодействия элементов структуры (дискретности) из сочетания парных чисел от 2 до 12. Это позволит определить ряд топологических свойств и состояний дисперсной системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смирнова, Н.А. Методы статистической термодинамики в физической химии [Текст] / Н.А. Смирнова. — М. : Высш. шк., 1973.
2. Аскадский, А.А. Компьютерное моделирование полимеров. Т. 1 : Атомно-молекулярный уровень [Текст] / А.А. Аскадский, В.И. Кондращенко. — М. : Науч. мир, 1999.
3. Хархардин, А.Н. Топологические свойства микро- и нанодисперсных материалов [Текст] / А.Н. Хархардин, В.В. Кашибадзе // Изв. вузов. Строительство. — 2009. — № 5. — С. 109–113.

Получено 20.04.10

Kharkhardin A.N., doctor of technical sciences, professor; E-mail s-nsm@intbel.ru,
Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

THE POTENTIALS AND FORCES OF PAIRED OF INTERMOLECULAR INTERACTION OF ATOMS AND MICRO- AND NANOPARTICLES

The potentials and forces of paired intermolecular interaction of atoms, micro- and nanoparticles are shown in order to determine the topological properties of dispersed mineral crushing product as well as functions obtained for their coordination number.

Key words: dispersed materials, micro- and nanoparticles, intermolecular interaction, potentials and forces, coordination number.

REFERENCES

1. Smirnova, N.A. Methods of statistical thermodynamics in physical chemistry [Text] / N.A. Smirnova. — M. : Higher school, 1973.
 2. Askadskiy, A.A. Computer modeling of polymers. Vol. 1 : Atomic and molecular level [Text] / A.A. Askadskiy, V.I. Kondrashchenko. — M. : Scientific world, 1999.
 3. Kharkhardin, A.N. Topological properties of micro- and nanopowder materials [Text] / A.N. Kharkhardin, V.V. Kashibadze // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2009. — N 5. — P. 109–113.
-

В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ

УДК 624.131

Ю.П. СМОЛИН, В.Н. БЕЛОБОРОДОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ ЗАБИВКЕ СВАЙ НА БЛИЗКОРАСПОЛОЖЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Исследованы уровни вибрации в близкорасположенных зданиях при забивке свай гидромолотом «РОПАТ». Произведен анализ записанных акселерограмм при погружении свай от начала бойки до конца ее погружения.

Ключевые слова: забивка свай, вертикальные и горизонтальные компоненты вектора ускорения колебаний, гидромолот, энергия удара, двухкомпонентные акселерометры.

В подавляющем большинстве случаев погружение свай осуществляется наиболее эффективным ударным способом, что имеет как положительные, так и отрицательные стороны. Среди отрицательных — возможность повреждений окружающих зданий и сооружений, вызванных колебаниями грунта при забивке свай. Наиболее надежный прогноз возможного влияния на окружающие здания при сваебойных работах — проведение инструментальных наблюдений за колебаниями конструкций сооружений.

Существует отечественная методика приближенной теоретической оценки уровней вибрации объектов на различных расстояниях от копра при забивке свай, но свойства грунтов и конструктивные решения объектов слишком различаются, чтобы была возможна точная количественная оценка этих величин. Следовательно, в некоторых случаях оказываются необходимыми экспериментальная оценка и проведение измерений параметров колебаний. В строительных нормах [1], разработанных институтом «Фундаментпроект», даны допустимые верхние пределы измеряемых ускорений колебаний фундаментов при забивке свай в зависимости от вида грунта и конструктивных особенностей близкорасположенных зданий и сооружений. Если расстояние от забиваемой сваи до сооружения больше радиуса зоны воздействия, то в этом случае допускается не производить расчет ожидаемых деформаций оснований фундаментов существующих сооружений [1, табл. 1]. Таким радиусом для зданий с несущими стенами является расстояние в 30 м. При меньших расстояниях до существующих сооружений, а также когда имеются сомнения в надежности и сейсмостойкости объекта, необходимо произвести непосредственные измерения параметров колебаний грунтов и фундаментов существующих сооружений при погружении пробных свай при наименьшем расстоянии этих свай от сооружения. Свойства грунтов и конструктивные решения объектов слишком различаются, следовательно, в некоторых случаях оказывается необходимой экспериментальная оценка и проведение измерений параметров колебаний и при расстояниях больше 30 м.

В течение нескольких лет авторами было проведено большое количество исследований параметров колебаний при забивке пробных свай с различными расстояниями до существующих зданий. В задачу исследований входила оценка воздействия колебаний при забивке свай на близко расположенные сооружения. Эти исследования проводились по просьбе строителей в связи с беспокойством жильцов близлежащих зданий на возможные их повреждения.

В задачу исследования не входила оценка соблюдения санитарных норм при погружении свай, входило лишь определение соответствия измерений ускорений допустимых значениям по табл. 2 [1].

Точки замера выбирались самые неблагоприятные, где могут возникать максимальные уровни колебаний. Замерялись колебания на фундаментах и на верхних этажах в максимальной близости к источнику колебаний. При невозможности измерений колебаний на фундаментах замеры осуществлялись на первом этаже, при этом предполагалось, что регистрируемые параметры колебаний незначительно отличаются от колебаний фундаментов. В то же время амплитуды ускорений, замеряемых на верхних этажах многоэтажных зданий, нередко оказывались выше, чем на фундаменте или на первом этаже. Исходя из этого замер, как правило, всегда осуществлялся как на верхнем, так и на нижних этажах. В случае больших залов ускорения замерялись в середине помещения.

При регистрации колебаний от забивки свай авторами применялась аппаратура, позволяющая замерять параметры колебаний с минимальным искажением. В качестве преобразователя величины ускорения в электрический сигнал использовались высокочувствительные пьезоэлектрические низкочастотные акселерометры с антивibrationным кабелем и усилителем. Иногда для той же цели использовались акселерометры со встроенным предуслителем в интегральном исполнении (типа *ICP*). Электрический сигнал с акселерометров оцифровывался 12-разрядным аналого-цифровым преобразователем *L-Card* и записывался в память компьютера типа «ноутбук».

Используемый комплект из двухкомпонентных датчиков ускорений, усилителей и системы сбора данных обеспечивал качественную регистрацию сигналов амплитуды свыше $0,02 \text{ м/с}^2$ и имел полосу регистрируемых частот от 1 до 400 Гц. В процессе работы выяснилось, что спектральный состав регистрируемых при забивке свай сигналов не выходит за пределы 5...100 Гц, что в принципе позволяет использовать более узкополосные датчики и менее быстродействующие (аналогово-цифровые преобразователи) АЦП. Кроме того, при расстояниях от копра менее 30 м амплитуды ускорения колебаний обычно превосходят $0,05 \text{ м/с}^2$, что снижает требования к чувствительности и позволяет использовать АЦП с разрядностью 12...14.

Датчики в интегральном исполнении удобнее в работе, но их встроенный усилитель не позволяет в широких пределах изменять коэффициент усиления, и при больших амплитудах они выходят из рабочего режима. Поэтому приходится иметь комплект датчиков, отличающихся по чувствительности для различных уровней амплитуды ускорения.

Цифровой способ регистрации существенно упрощает дальнейшую обработку записанного сигнала. С помощью многих достаточно распространенных пакетов программ очень оперативно производятся фильтрация, получение спектров, перевод величин ускорения в соответствующие значения виброскорости и виброперемещений.

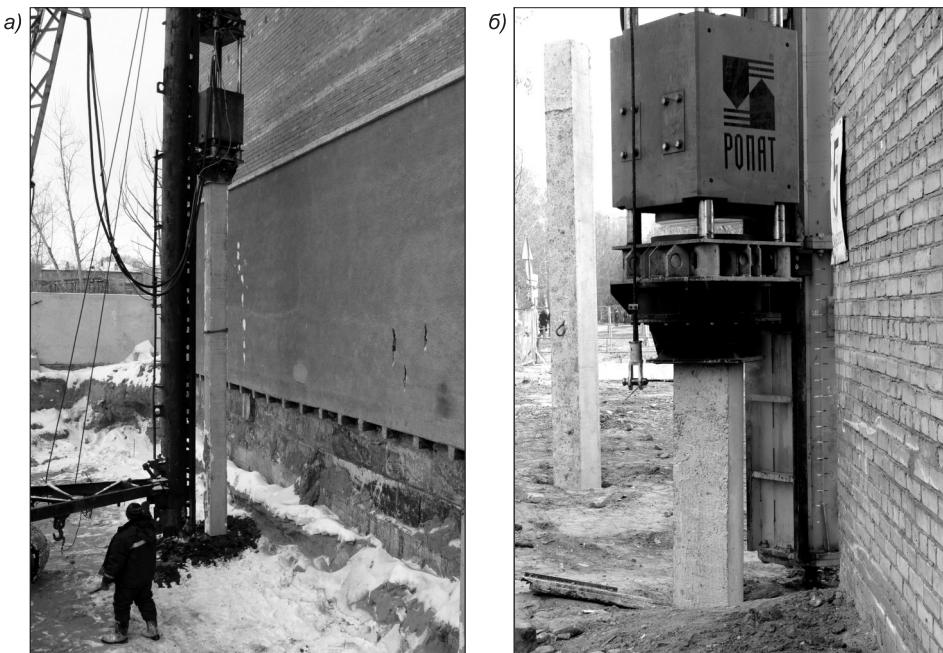
Весьма существенное значение имеет способ крепления акселерометров. Согласно рекомендациям норм, датчики следует располагать на

жестких несущих конструкциях, причем способ крепления должен обеспечивать высокую жесткость контакта. Авторами чаще всего использовалась мастика на восковой основе, которой датчики приклеивались на кафельный либо на бетонный пол у несущих стен на лестничных площадках подъездов, реже на хорошо закрепленных каменных подоконниках. В случае необходимости замеров на фундаментных блоках шероховатые бетонные поверхности выравнивались и грунтовались цианакрилатным клеем.

В последнее время в нашей стране и за рубежом стали применять гидравлические молоты, с помощью которых при погружении сваи можно менять энергию удара от 2 до 68 кДж.

В г. Новосибирске компания «РОПАТ» (единственный производитель сваебойных гидравлических молотов на российском рынке) выпускает штанговые молоты для забивки железобетонных свай с ударной массой молота 5 т. Молоты «РОПАТ» по техническим характеристикам при максимальной энергии удара имеют частоту 60 уд./мин, а при минимальной — 240 уд./мин. Такие молоты вытесняют дизельные молоты при строительстве объектов, сооружаемых на свайных фундаментах. Это связано, в первую очередь, с возможностью задавать и изменять оптимальную энергию ударов молота при погружении свай. Молот типа «РОПАТ» позволяет изменять не только энергию единичного удара, но и частоту повторения ударов, т.е. ослаблять влияние резонансов на пиковые амплитуды ускорений, измеряемых на конструкциях зданий. Это позволяет в ряде случаев забивать сваи на минимальном расстоянии от построенных сооружений.

На рисунке (а, б) показаны моменты погружения свай на объектах г. Новосибирска гидромолотом «РОПАТ» вблизи существующих зданий. Как в первом, так и во втором случаях строящиеся объекты пристраивались к существующим эксплуатируемым жилым домам. Расстояние от забиваемых свай до стен существующих зданий составляло примерно 1 м, при этом производился оперативный контроль амплитуд вибрационных воздействий.



Погружение свай в непосредственной близости от существующих объектов

Датчики ускорения устанавливались на фундаментах и на верхних этажах. Забивка свай начиналась с минимально возможной энергии удара, действующие ускорения тут же сравнивались с предельными значениями ускорений. Если ускорения колебаний не превышали предельных значений по нормам [1], то сообщалось машинисту о возможности увеличения энергии удара. Увеличение прекращали по достижении 3,6 кДж, при этом минимальные амплитуды вертикальных ускорений составили на фундаменте $0,47 \text{ м/с}^2$, а на 10-м этаже — $0,19 \text{ м/с}^2$.

Пример применения гидромолота «РОПАТ». При строительстве жилого многоэтажного дома по ул. Немировича-Данченко, сооружаемого на свайном фундаменте, при забивке свай был применен молот «РОПАТ». На расстоянии 56...83 м от забиваемых свай расположено здание средней школы. По действующим нормативам измерения можно было не производить [2]. Однако в результате забивки свай на проектную глубину 12,0 м в школе на фасадах и внутренних кирпичных и гипсолистовых перегородках образовались трещины от 2,0 до 3,0 мм. В связи с этим дальнейшую забивку свай строителям пришлось временно прекратить из-за возможных дальнейших повреждений несущих конструкций здания школы.

Авторы статьи произвели замеры амплитуд ускорений колебаний на несущих конструкциях здания школы при энергии удара, равной 48 кДж, максимальные амплитуды ускорений колебаний школы составили $0,23 \text{ м/с}^2$. Согласно [1], предельно допустимое значение ускорения колебаний для данной категории сооружений и грунтовых условий (пески мелкие, средней плотности, насыщенные водой) составляет $0,15 \text{ м/с}^2$. Максимальные амплитуды ускорений колебаний превысили предельно допустимые на 53 %.

Тогда было принято решение изменить энергию удара молота в два раза, т.е. забить сваи с энергией удара в 24 кДж, и вновь замерить параметры колебаний несущих конструкций в здании. Но перед очередными замерами ускорений было решено провести обследование здания и выявить, имеется ли опасность появления новых и раскрытия уже образовавшихся трещин при дальнейшей забивке свай. Для этой цели были привлечены специалисты ООО «СибСтройЭкспертиза», которые осмотрели конструкции здания и составили описание всех имеющихся трещин и повреждений.

После обследования произвели забивку двух свай с энергией молота 24 кДж. Места погружения свай располагались на самом близком расстоянии по проекту — 56 м от здания школы. Максимальные амплитуды ускорений вертикальных колебаний составили $0,18 \text{ м/с}^2$, что также пре-вышло предельно допустимое значение, хотя имело место снижение максимальных амплитуд ускорений колебаний. Дальнейшее снижение энергии удара позволило подобрать такую энергию удара молотом, при которой амплитуды ускорений стали меньше предельных значений.

После окончания погружения свай специалисты ООО «СибСтрой-Экспертиза» вновь произвели визуальный осмотр здания с целью выявления новых трещин в конструкциях. Было установлено, что дополнительных трещин в несущих конструкциях не возникло.

Выводы. Использование гидромолотов «РОПАТ» с регулируемой энергией удара молотом, а также применение средств измерения уровней вибрации при погружении свай и наличие оперативной связи с машинистом копра позволяют производить забивку свай при минимально возможном расстоянии, чем указывается в [1], от свай до близкорасположенных зданий и сооружений.

В случае если снижение энергии удара молотом доведено до минимального значения и при этом еще не достигнут безопасный уровень вибрации, следует расстояние от сооружения до ближайшего ряда свай увеличить или принять другие технические решения.

В процессе забивания сваи при сложной слоистой структуре грунтов нередки случаи существенного изменения амплитуды вибраций, поэтому обязательна запись всего процесса забивания сваи с последующим выбором фрагментов с наибольшей амплитудой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ВСН 490–87. Проектирование и устройство свайных фундаментов и шпунтовых ограждений в условиях реконструкции промышленных предприятий и городской застройки [Текст]. — М., 1988. — 19 с.
2. ГОСТ Р 52892 — 2007. Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию [Текст]. — М., 2008. — 32 с.

*СМОЛИН Ю.П., д-р. техн. наук, проф.
Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС), г. Новосибирск*

*БЕЛОБОРОДОВ В.Н., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск*

Получено после доработки 30.03.10

Smolin Yu.P., doctor of technical sciences, professor, Siberian State University of Railways (SGUPS), Novosibirsk, Russia

Beloborodov V.N., candidate of technical sciences, senior scientist. Institute of Mining Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. Novosibirsk, Russia

MONITORING OF VIBRATION LEVELS IN BUILDINGS IN THE VICINITY OF PILE DRIVING HAMMER

Vibration levels on different floors of buildings in the vicinity of pile driving hydraulic hammer were measured. Registered during the whole process of pile sinking accelerograms has been analyzed.

Key words: pile sinking, vertical and horizontal components of acceleration vector in the vibration process, hydraulic hammer, impact energy, two-axis accelerometers.

REFERENCES

1. ABN 490–87. Designing and device pile foundation and enclosing sheeting in condition of the reconstructions industrial enterprise and townning development [Text]. — M., 1988. — 19 p.
 2. State Standard 52892–2007. Vibration and shock. Measurement to vibrations and estimation of its influence on design [Text]. — M., 2008. — 32 p.
-

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ И УСТРОЙСТВА ФУНДАМЕНТОВ

В НГАСУ (Сибстрин) разработана новая технология устройства фундаментов. Эта своевременная разработка будет востребована в строительстве, так как стоимость жилых зданий в значительной мере зависит от затрат на устройство фундаментов. При современных интенсивных темах строительства снижение затрат на устройство фундаментов представляется в достаточной мере актуальной проблемой. Применение разрабатываемой технологии позволит отказаться от свайных фундаментов. Стоимость устройства фундаментов при этом уменьшается в 2–3 раза, и значительно сокращаются сроки выполнения работ (погружение рабочего органа на глубину 2,9 м в грунте II категории и его извлечение составляет 5–7 мин.). При выштамповке котлованов для уплотнения грунтов производительность составляет 30–40 котлованов за смену.

Эти данные получены на основании эксплуатации опытного образца машины. По разработанной технологии и специальным проектам произведено устройство оснований с помощью агрегата на 6-ти объектах 10–17-этажных домов в г. Новосибирске. Разработана техническая документация и начато изготовление второго улучшенного агрегата при строительстве шести объектов многоэтажных жилых домов в г. Новосибирске.



Аналогов предлагаемого агрегата в настоящее время нет как в России, так и за рубежом.

Разработчик:

МИРОНОВ В. С., канд. техн. наук, проф. (НГАСУ (Сибстрин)).

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

E-mail: ntio-ngasu@yandex.ru

Internet: www.sibstrin.ru/innovation

Тел/факс: (3832) 66-28-89

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ¹

1. К рукописи, представляемой в редакцию на русском языке, необходимо приложить:
— *сопроводительное письмо* руководства организации, откуда исходит рукопись;

к сопроводительному письму должна быть приложена гарантия оплаты публикации статьи² за подпись автора или руководителя представляющей статью организации. Плата за публикацию статей аспирантов не взимается. Гарантийное письмо не требуется, если статья представляется организацией, осуществляющей целевые взносы на издание нашего журнала;

- *рекомендацию* соответствующей кафедры вуза (заверенную выписку из протокола заседания кафедры);
— *экспертное заключение* о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись;
— *разрешение* Роспатента на открытую публикацию материалов по заявке на изобретение.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере в программе Microsoft Word и представляться в редакции распечатанной в двух экземплярах, с приложением ее записи на CD (3", 5") или диске 3,5". Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Cyr размером 14 пт. с межстрочным интервалом 1,5. Объем рукописи — до 10 страниц. Обязательна нумерация страниц.

3. Порядок оформления статьи (см. макет статьи на Internet-сайте журнала):

- индекс УДК;
- инициалы, фамилии авторов;
- название статьи;
- аннотация (объемом до 0,3 страницы текста);
- ключевые слова;
- текст статьи;
- библиографический список не более четырех ссылок (при большем количестве их следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5-2008);
 - сведения об авторах: *фамилии, инициалы, ученые степени, звания* (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать); наименование учреждений, в которых работают авторы, на русском и *английском языках*;
 - почтовые адреса, телефоны и *e-mail* авторов;
 - *название статьи на английском языке*;
 - *аннотацию на английском языке*;
 - *ключевые слова на английском языке*;
 - *библиографический список на английском языке*.

4. На полях рукописи указываются места рисунков и таблиц (вставлять их в текст не нужно — это делается при верстке).

Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи).

5. Иллюстрации представляются в редакцию в виде файлов, созданных в программах CorelDraw или Microsoft Word, записанных с расширением *.cdr (предпочтительно) или *.doc, фотографий — TIFF или JPEG. Надписи и цифры набирать шрифтом Arial. Линии чертежа — не тоньше 1 пт. Иллюстрации, в том числе фотографии, должны быть черно-белыми с хорошей проработкой деталей.

Рисунки должны быть выполнены так, чтобы их можно было отредактировать (внести изменения, исправления, т.е. изменить шрифт, исправить возможные орфографические ошибки).

Иллюстрации должны быть распечатаны в двух экземплярах, с подписями к ним. Размер иллюстрации не должен превышать 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4.

6. Таблицы печатаются каждая на отдельном листе. Все наименования в них даются полностью, без сокращения слов.

7. Формулы следует набирать на компьютере шрифтом Times New Roman размером 14 пт. Русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) набираются прямым шрифтом. Латинские буквы набирать курсивом. Во избежание смешения сходных изображений прописных и строчных букв (*V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и *k* и др.), а также трудноразличимых букв и символов: *l*, *e* и *1* (цифра), *n* и *p*, *I* и *J* и т.п.) пояснения в необходимых случаях выполняются простым карандашом на полях. В статье должен быть необходимый минимум формул. Все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента).

¹ С дополнениями в соответствии с требованиями ВАК (выделены п/ж курсивом).

² На 2010 г. — из расчета 650 р. за 1 журнальную страницу.

(Окончание правил)

8. Следует применять физические величины и их обозначения, соответствующие стандарту СТ. СЭВ 1052-78 (СН 528-80).

9. В библиографический список включаются только те работы, которые опубликованы в печати, составленные в соответствии с ГОСТ 7.80-2000, ГОСТ 7.1-03.

Примеры оформления можно найти на Internet-сайте НГАСУ (Сибстрин) по адресу www.sibstrin.ru

10. Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции. Материалы уже публиковавшихся работ к рассмотрению не принимаются.

11. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению. При доработке статьи после рецензии на первой странице указываются ее редакционный номер, число, месяц, год и пометка «рукопись после доработки». Доработанную статью необходимо присыпать в двух экземплярах с приложением ее записи в электронном виде. К доработанной рукописи обязательno прикладывать ответы на все замечания рецензента. Датой поступления статьи считается получение редакцией ее окончательного текста.

12. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописей. *Корректура статей авторам не представляется.*

13. Гонорар за опубликованные статьи *не выплачивается*.

14. Рукописи, не удовлетворяющие изложенным требованиям, отправляются авторам на доработку, что замедляет срок их опубликования.

ПРИНИМАЕТСЯ ПОДПИСКА

на 2-е полугодие 2010 г.

НА НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

«СТРОИТЕЛЬСТВО»

Журнал имеет разделы

Строительные конструкции
Теория инженерных сооружений
Строительные материалы и изделия
Экономика и организация строительства
Автоматизация и технология строительного производства
Гидротехническое строительство
Санитарная техника

Строительство автомобильных дорог и мостов
Строительные и дорожные машины
Научные проблемы архитектуры и экологии
Научно-методический В лабораториях вузов
Внедрение научных достижений в производство
Научная информация

Каталожная цена за 6 месяцев — 1080 р.

Цена отдельного номера — 180 р.

Подписка принимается с любого месяца без ограничения всеми агентствами Роспечати и отделениями связи. Индекс 70377.

ББК 38
И 33
УДК 69

Научное издание

**Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО**

№ 6 (618) 2010

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *Н.Г. Павлова, С.М. Погудина*

Технический редактор *Н.М. Макаренко*

Компьютерная верстка *Р.Г. Усова*

Корректор *Г.И. Шведкина*